

## 石油流出の影響および発生後の対策. 「サハリナー1」プロジェクト第1段階. 環境への影響の評価

Kiyomizu, Kiyotoshi

Goto, Kazuo

Katsuragi, Kenji  
福岡工業大学社会環境学部 : 教授

<https://hdl.handle.net/2324/17944>

---

出版情報 : 2004-07. 科学技術振興機構(JST)受託研究  
バージョン :  
権利関係 :

第6冊 第9章 石油流出の影響および発生後の対策

「サハリン-1」プロジェクト第1段階  
環境への影響の評価

訳出者 清水正俊（～9.3.1.1）

後藤和夫（9.3.1.2～、付図）

（監修：桂木健次）

「サハリナー1」プロジェクト：  
設備の据付けおよび採掘の段階

環境への影響の評価 第6冊 第9章

---

## 9.0 石油流出の影響の評価および発生後の対策

### 9.1 流出の防止および発生後の対策の概念

「エクソン・ネフテガス・リミテド」社は、「サハリナー1」プロジェクトを実施する際に、石油の開発、採掘および輸送の過程で発生し得る小規模な流出および、殆どあり得ないことではあるが、より重要な事故の発生が起こり得ることを認識している。

このプロジェクトの基本的な目的は、そのような事故が起こる可能性を明らかにして、事故の防止のための積極的な対策を講じることによってその発生の確率を最小限にすること、および事故が発生した場合には、事故処理のための設備を使用して即応出来るように、よく訓練された人員の努力によって、その結果を軽減することである。

「エクソン・ネフテガス・リミテド」社は、必要な場合には、「エクソン・モービル・グローバル」社の石油流出のリスク分析および流出石油の除去の分野の国際専門家グループを参加させる。

#### 9.1.1 潜在的な流出源

石油の流出は、通常、次の二つのカテゴリーに分けられる。すなわち、生産に際しての流出と事故による流出である。その結果は、そのような流出が起こる環境によって変わって来る。全般的には、地上での流出は、水中での流出に比べて、流出石油の拡散の範囲を限定し、除去することが容易である。

生産活動に伴う流出は、通常、小規模であり、海上ターミナルの操業、タンカーの積み降ろしの際に起こる。

事故による流出（パイプラインの破損、タンカーの衝突、油井からの噴出に伴う流出）は、確率は小さいけれども、起これば、特に、石油が水中に入った場合には、大規模となり、流出石油の除去が困難になる。同様な状況が氷にある時に起これば、さらに困難になる。「エクソン・ネフテガス・リミテド」社は、起こり得る流出のさまざまなタイプと規模を明らかにするために、プロジェクトの各段階におけるリスクの完全な評価を行い（第8章参照）、その防止策を検討して、それらに対応する流出石油の除去戦略を立案する。

ここで考察されている生産活動の範囲には、「オルラン」海上プラットフォーム（訳注：オルランはロシア語で「オジロワシ」の意味）の油井からの石油・ガスの採掘、海岸にある陸上の

ボーリング施設からの石油・ガスの採掘、海中および地上のパイプライン、海上ターミナルの操業、タタール（間宮）海峡でのタンカーの運航も含まれる。

### 9.1.2 流出の防止

石油の流出のリスクを減らすための基本的な方法は、設備の綿密な設計（例えば、二重構造のタンカー）および生産操業の実施規則の厳格な順守である。きちんとした管理、教育およびモニタリングも事故の確率を減らすことを可能にする。漏洩を示す最新のシステムはパイプライン・システムでの潜在的な事故について即時に通報するために役に立つ。

「エクソン・ネフテガス・リミテッド」社は、どんな作業の結果でも起こり得る流出を最小限にするために世界で最良の方法および機器を使用するであろう。例えば、パイプラインは、次のような場合の破損に耐えられるように設計されるであろう。

- 陸上パイプラインの場合は1000年、海洋パイプラインの場合は2000年の「周期」の地震の危険性。
- 海洋パイプラインの場合は2000年の「周期」の氷結による氷の峰の形成。

### 9.1.3 流出後の対策

流出石油を除去するための一連の方法がある。陸上での流出の場合は、石油の一層の拡散を防止するために築堤 (berm) を造営することによって石油を収集する方法、および石油を除去するために石油を収集して汲み取るための機械装置の使用が含まれる。

海洋での流出の場合は、石油が水面を急速に拡散するので、局地化することが陸上での流出に比べて困難である。基本的な対策は、オイル・フェンスおよび石油収集装置を使用して流出石油の拡散を阻止して収集すること、薬剤を使用して流出石油の自然分散を促進すること、現場で焼却すること、である。これらの対策は、低温の状況の下では、特に氷が存在する時には、望ましい方法である。

石油の流出の結果を最小限にするためには、その原因と結果を完全に把握することが重要である。流出石油を除去するための戦略および優先順位は、被害を受けやすい地域を守り、適切な方法を選択するために計画立案の段階で決定される。これは、石油流出のさまざまなシナリオの作成および最も影響を受けやすい地域の特定のために流出石油の移動の軌跡をモデル化することによって可能になる。そのような情報を配置すれば、各区間に対応する戦略を作成することが可能である。

エクソン・ネフテガス・リミテッド社は、石油流出が環境に及ぼし得る影響を検討し、そのような事故の影響を除去する際の実現可能な戦略計画を作成するために、ロシアおよび国際的な専門家と協力している。

### 陸上で対応するための方法

陸上での全ての技術的装備は、生産現場での事故による石油流出を阻止することが出来るように設計される。石油パイプラインの事故による流出は例外となる。

地表に流出した石油の状態は、さまざまな性質の土壌との相互作用によって決まる。そして地下水の水準および地表水流の存在に依存している（第7.9篇を参照）。

石油流出に対する対策案は現地の地形の状況および土壌が流出の否定的な影響を緩和することが出来るかどうかには依存するであろう。対策案には次のようなものが含まれる。

- 流出場所の周囲に、拡散防止のための堰を築くこと、および、その後で汚染した土壌を除去すること。
- 流出した石油の移動を遮断するための溝を掘ること、および、その後、地下水から石油を除去すること。
- 石油が生態学的に敏感な対象、例えば、小川や河川の方向に移動するのを防止するために地中深く不透過性の遮蔽物を設置すること。
- 上述のような方法を用いて、石油の移動方向を生態学的に敏感な対象から逸らすこと。

以下の各篇（9.2、9.3、9.4）では、石油流出事故に際して起こり得る事態の動きのシナリオが検討され、さまざまな対策案が示されるとともに、海洋および地上の環境に対して石油流出が与え得る影響の評価が行われる。

## 9.2 海洋で起こり得る流出のモデル化

「サハリン・1」プロジェクトは、安全のために必要な全ての方策を順守するという原則と、環境への影響を最小限にするという要求に従って実施される。施設の建設と操業に際しては、安全で事故のない作業計画を順守し、起こり得る事故の予知と予防のための全ての技術的方策を実行することが想定されている。世界の実例が示しているところによると、それにも拘らず、海洋での流出事故が起こる確率が、ごく僅かながら存在する。石油流出を含む事故の確率を評価するためのリスクの質的分析は第8章で行われる。安全対策に特別な配慮を必要とする潜在的に危険な種類の作業には次のようなものが含まれる。すなわち、プラットフォーム「オルラン」の上および沿岸でのボーリング作業、海上および陸上のパイプラインによる石油の輸送、タンカーによる石油の輸送および大陸側のデ・カストリ港の石油ターミナルの操業である。

海洋環境への影響評価の必要性は、OVOS（訳注：ロシア語の略語。環境への影響評価の意味）の手続きに関するロシア連邦国家生態学的審査規則（OVOSの実施に関する規則、2000年）および「事故による流出石油一掃計画」の構成および質に関する国家海洋事故救難局および非常事態省の規則によって規定されている（ロシア連邦政府決定No. 613, 2000年）。これらの規則を考慮して、海洋環境への石油製品の流入が生じる状況のシナリオを作成し、その輸送および移動の統計的な結果を推定する必要がある。

海洋での流出石油の移動(povedenie)は、石油自体の物理・化学的属性と同様に、気象条件によって決まる。流出の初期の段階では、海面での石油の急速な拡散が起こるが、これは重力によって条件付けられている。通常、石油の拡散は汚染水域の周辺で起こる。その際、汚染水域の中心では厚い層（レンズ状）が維持される。汚染水域の周辺への拡散の時には、一時的に厚い層が形成されることもあり得る。拡散の速度は大幅に変化することがあり得るが、それは、基本的には、汚染水域の最初の容積、石油の物理的属性（粘度、密度、表面張力係数、etc.）によって決まる。石油の量によっては、この過程は、均一の厚さの層になるまでに数分間から数時間、場合によっては数日間続くことさえあり得る。氷が存在する場合には、石油の拡散は遅くなり、その海域における氷の条件の特徴によって条件付けられる。石油が、全部または一部分、氷原の表面に落ち込むこともあり得る。

石油の海面での一層の拡散は、表面張力の作用と乱流による拡散によって条件付けられる。より正確に言えば、石油と水、石油と空気の境界の接触面の乱流の性格によって条件付けられる。流出石油の形状の変化と移動の仕方は、風、潮流、氷（凍結期の場合）の相互作用によって決まる。流出の初期には、石油の揮発性留分の急速な蒸発が起こる。蒸発の強さは汚染水域の面積、気象条件、軽量留分の浮遊度およびその他の要因によって決まる。軽量留分の蒸発に伴って、拡散する石油の物理・化学的属性（密度、粘度）が変化する。蒸発する石油の量は、蒸発の面積によっても、気象条件（風、温度）によっても決まるので、拡散と蒸発の過程は非常に緊密に結び付いている。

風と波が強い場合には、石油の垂直分散が強まり、石油は微細な油滴の形で水中に落ち込む。分散する石油の大部分は、単に拡散するだけであるが、若干の油滴は合体して、浮力の作用の下で海面に上昇する。拡散した石油の凝縮の仕方は波と乱流による混合の力学的構造によって決まる。石油の被膜は、水との相互作用によって、水を集めて、石油の中に水を包み込んだタイプのエマルジョンを形成する。この際、エマルジョンの粘度は著しく増大し、汚染水域の自然拡散を阻止する。エマルジョンの移動は、被膜状の石油と同じ要因によって決定される。石油流出事故の影響を除去する作業の計画を立案する際には、水・石油エマルジョンの容積が流出石油の当初の容積の数倍に増大することがあり得るので、石油を回収する時には、より大きな容積の容器を想定することが必要であることを考慮すべきである。

水を包み込んだ石油による汚染の例としては、1997年に日本海で起こったタンカー「ナホトカ号」の石油流出事故がある（Varlamov 他、1997年；Varlamov 他、2000年；早川他、1997年）。この時は、石油・水エマルジョンの容積が増大しただけでなくて、粘度も増大したので、スキマー（skimmer）（訳注：流出石油を汲み取る装置）の使用が困難になった。1997年の日本の海岸線の石油による汚染の分析が示したところによると、目に見える形での漂着石油は、砂浜では、波打ち際の高波の影響によって、非常に急速に消失した。他方、岩石の多い海岸では、主として、石油が岩石で覆われた空間を満たした結果、非常に長い間残留した。

### 9.2.1 流出事故のシナリオと初期データ

環境への影響の評価および流出事故の影響を除去するための方策の決定の過程の一環として、流出した炭化水素がどのように移動し、運搬される可能性があるかを予測することが、流出事故のシナリオをモデル化することの課題である。モデル化のための初期情報には、流出源の選択、流出の特徴および当該気象条件が含まれる。流出源の選択は、流出事故影響除去計画、国際基準および当該法律の要求を考慮したリスク分析の実行に基づいて行われる（第8章）。技術的シナリオには、流出の推定発生時刻および場所、流出石油の分量、流出の継続時間および十分なモデル化に必要なその他の一連の技術的詳細が含まれる。石油の環境への流入および移動が依存する環境条件を決定するのは、気象シナリオである。

#### 9.2.1.1 モデル化のためのシナリオ

この文書で検討されるシナリオは、起こり得る流出の影響の評価の基礎であるとともに、フィージビリティ・スタディー（訳注：事業化可能性調査。ロシア語の略語はTEO）の諸段階にとっては石油流出事故影響除去計画の作成のための資料でもある。流出事故の統計によると（第8章）、最も頻繁に起こるのは、設備の操業に関連した小規模な流出である。小規模な流出は、通常、予防手段によって、急速に解消される。残りは中規模および

大規模な流出である（第8章）。モデル化のためのシナリオの選択は、最も不利なヴァリエーションに基づいている。

### 詳細なモデル化のための流出源の技術的特徴

詳細なモデル化のために、事故の主要な技術的シナリオとして次の4つの項目が選択された（表・9.2.1.1-1）：

- サハリンの北東部の大陸棚：「オルラン」プラットフォームでの流出事故。
- タタール（間宮）海峡：海峡北部、シュルクム岬の近くでのタンカー事故による流出事故。
- タタール（間宮）海峡：海峡南部でのタンカー事故による流出事故。
- タタール（間宮）海峡：ラ・ペルーズ（宗谷）海峡（訳注：ラ・ペルーズ（1741～1788年）はフランスの海洋探検家で、新航路発見の一環としてラ・ペルーズ（宗谷）海峡を通過した）への出口でのタンカー事故による流出事故。

表・9.2.1.1-1 では、起こり得る石油流出の主要な源泉の技術的特徴が示されている。

表 9.2.1.1-1 : 詳細なモデル化を行うための事故の技術的特徴事故発生箇所別データ

N		石油流出量 (m <sup>3</sup> )	石油流出 時間	流出速度 (m <sup>3</sup> /h)	流出位置	流出の タイプ	石油の タイプ
1	「オルテン」 プラットフォーム	106,800	21 昼夜	212.3	北緯 52° 25'47" 東経 143° 24'20"	海上プラットフォーム の甲板からの流出	チャイヴォー 87、 ボンニ・ライト
2	タートル(間宮)海峡 北部での タンカー事故	14,000	6 時間	2,333	北緯 50° 東経 141°	タンカーからの流出 による汚染	チャイヴォー 87、 ボンニ・ライト
3	タートル(間宮)海峡 南部での タンカー事故	14,000	6 時間	2,333	北緯 47° 30' 東経 141°	タンカーからの流出 による汚染	チャイヴォー 87、 ボンニ・ライト
4	ラ・ペルーズ(宗谷) 海峡入口での タンカー事故	14,000	6 時間	2,333	北緯 45.54° 東経 141° 15'	タンカーからの流出 による汚染	チャイヴォー 87、 ボンニ・ライト

石油流出のモデル化のためには、ロシア・モデル「V O S 3.2」(コチェルギン他、2000年)、D V N I G M I (訳注:ロシア語の略語。極東気象研究所の意味)を適用した指針およびアプライド・サイエンス・アソシエーツ社が作成してエクソン・モービル社によって使用されているアメリカ・モデル「O I L M A P」(A S A、2000年)の二つの方法が使用された。これらの二つのモデルによって独立して行われた計算の比較分析は比較可能な結果を示している。そして、モデルの特徴および初期の気象データによって、若干の相違が認められた。この文書では、両方のモデルによる結果が示されている。表・9.2.1.1-2 (訳注:表・9.2.1.1-1の間違いか?)では、発生箇所に応じて選択されたモデルのヴァリエーションが導入されており、表・9.2.1.1-1 (訳注:表・9.2.1.1-2の間違い)では石油流出における二つのモデルのために、計算に必要な若干の事項も示されている。

表 9.2.1.1-2 : 流出石油の移動評価のためのモデル化結果

シナリオ	流出源	適用したモデル	流出開始日	計算上の最大限流出時間(昼夜)	計算上のヴァリエーション		
					軌跡によるモデル化	確立によるモデル化	物理・化学的推移
1	「オルアン」プラットフォーム	VOS3.2	8月15日	30	+	+	+
2		VOS3.2	10月15日	30	+	+	+
3		VOS3.2	2月15日	30	+	+	+
4	タートル(間宮)海峡北端でのタンカー事故	VOS3.2	8月15日	30		+	+
		OILMAP	8月15日	60		+	+
5		VOS3.2	10月15日	30		+	+
		OILMAP	10月15日	60		+	+
6		VOS3.2	2月15日	30		+	+
7	タートル(間宮)海峡南端でのタンカー事故	VOS3.2	8月15日	30	+	+	+
		OILMAP	8月15日	60		+	+
8		VOS3.2	10月15日	30	+	+	+
9		OILMAP	3月15日	60	+	+	+
10	ラ・ペルーズ(宗谷)海峡入口でのタンカー事故	VOS3.2	8月15日	30		+	+
		OILMAP	8月15日	60		+	+
11		VOS3.2	10月15日	30		+	+
12		VOS3.2	2月15日	30		+	+
		OILMAP	3月15日	60		+	+

モデル化に際しては、2種類のタイプの石油の物理・化学的データが使用された。モデル「VOS 3.2」による計算では、1987年に試掘井「チャイヴォー3」で得られた石油の分留が使用された。モデル「OILMAP」による計算では、NOAA（訳注：英語の略語。アメリカ海洋大気局の意味）のデータ・ベースに入っている「ボンニー・ライト」と同タイプの石油の特徴が使用された。両タイプの石油とも軽質油に分類されている。モデル化に際して使用されている2つのタイプの石油を比較した物理・化学的特徴は、表・9.2.1.1-3に示されている。

表 9.2.1.1-3 : 石油モデル化における利用資料の特徴比較

石油のタイプ	密度	アメリカ石油研究所の 度数による密度 (API Gravity)	エマルジョン化度数	粘度
チャイヴォー 1987	872kg/m <sup>3</sup>	データなし	0.8	0.000045 (温度 10°C)
ボンニ・ライト	840.80kg/m <sup>3</sup>	36.70	0.74	0.000003 (温度 38°C)

### 追加的な流出源

下記の技術的予測のために、専門家による石油流出のあり得る移動についての（質的な）評価が、追加的に行われた。

- サハリン北東部の大陸棚：掘削区域（例えば、「チャイヴォー」区域）からの事故による流出。位置：北緯 52 度 03 分 41.57 秒、東経 141 度 31 分 59.68 秒。
- ネヴェリスコイ海峡（訳注：極東を探検したロシアの G. I. ネヴェリスコイ提督（1813～76 年）にちなむタートル（間宮）海峡の別称）：海中のパイプラインの破損事故。位置：北緯 52 度 03 分 41.57 秒、東経 141 度 31 分 59.68 秒。
- チハチェフ湾：海上ターミナル区域での事故。位置：北緯 51 度 27 分 16.32 秒、東経 141 度 31 分 59.68 秒。

どのようなモデルがあり得るかということやデータの有無を含むさまざまな原因により、この段階ではこれらのシナリオによる詳細なモデルを作成することは不可能であった。専門家による（記述的な）評価の予備的な結果は O V O S（環境への影響評価）のためにも、事故による流出石油一掃計画の作成のためにも使用することが出来る。

石油流出の潜在的な源泉の位置は、表・9.2.1.1-1 で示されている。

### 9.2.1.2 初期気象データ

気象状況の一般的な記述は、第6章で行われている。以下に述べられているのは、モデル化のための初期情報の準備およびモデル化の結果の統合のために必要な具体的な気象データである。

石油のモデル化のための気象シナリオを作成するに際しては、ロシア気象庁の傘下の S a k h U G M S（訳注：ロシア語の略語。サハリン気象観測所管理局）、D V N I G M I（極東気象情報研究所）、D V U G M S（訳注：ロシア語の略語。極東気象観測所管理局の意味）の公式データが使用されている。その他に、気象状況を作成するために、ワシントン

## 第6巻 第9章

## 石油流出の影響および発生後の対策

ンの全米データ・センター（NCEP）の歴史的観測遡及分析データが使用されている。石油の拡散および移動のモデル化のためには、次の気象データの利用が必要である。

- 気温。
- 風速と風向。
- 波のパラメーター。
- 海面の潮流の速度および方向。
- 水温。
- 氷の状況の特徴。これには氷の集中度、氷層の密集度、流氷の速度等の測定が含まれる。

**気温**

北東サハリンおよびタタール（間宮）海峡の気象台による月間平均気温、最高気温および最低気温は、何れも、夏期については表・9.2.1.2-1に、秋期については表・9.1.1.2-2に、冬期については表・9.2.1.2-3に示されている。

表 9.2.1.2-1 : 夏期の気温 (°C)

	オドプトゥ	ヴァル	デ・カストリ	アレクサンドロフスク・サハリンスク
多年月間平均気温				
8月	12.9	13.1	15.4	16.4
9月	9.9	10.3	11.5	12.1
最低気温				
8月	3.8	2.2	4.9	3.1
9月	-0.4	-4.4	-1.3	-1.1
最高気温				
8月	30.0	30.0	28.1	30.7
9月	24.4	25.8	28.4	25.2

表 9.2.1.2-2 : 秋期の気温 (°C)

	オドプトゥ	ヴァル	デ・カストリ	アレクサンドロフスク・サハリンスク
多年月間平均気温				
10月	3.1	3.3	3.1	4.7
11月	-7.2	-6.8	-8.0	-4.8
最低気温				
10月	-15.4	-17.8	-15.8	-13.7
11月	-23.8	-25.4	-25.0	-22.4
最高気温				
10月	16.2	18.9	19.0	20.5
11月	7.7	14.5	12.6	13.2

表 9.2.1.2-3 : 冬期の気温 (°C)

	オドプトゥ	ヴァル	デ・カストリ	アレクサンドロフスク・サハリンスク
多年月間平均気温				
2月	-16.8	-17.1	-15.6	-15.2
3月	-11.9	-11.3	-9.0	-8.6
最低気温				
2月	-34.3	-39.6	-33.4	-35.1
3月	-32.6	-36.4	-28.7	-28.1
最高気温				
2月	-0.8	3.6	1.2	4.6
3月	6.8	8.4	12.3	11.1

### 風の特徴

サハリンの北東部の大陸棚では、8月には、主として南方および南東方に向けての風が吹く。9月には、最も頻度が高く繰り返されるのは、西風である。8月の月間平均風速は、まれに秒速5メートルと越えることがあるが、それは主として南風の場合である。9月には全ての方面へ向けての風の風速が増大する。

サハリンの北東部の大陸棚では、10月には、西風および北風の頻度が著しく増大するという特徴がある。その際、南風の役割は減少する。11月には、西風の役割はますます増大して49%に達する（ヴァル気象台）。

冬期には、西風、北西風、北風が多いのが特徴である。2月および3月には、月間平均が最大の風速で、北東方向への風である。

タタール（間宮）海峡では、8月には、主として南向きの風が吹く。シジマン气象台では、山岳の影響が著しく認められている。このため、この海域では、主として東および西向きに風が吹き、平均風速は秒速2～3メートルであるが、無風の場合も非常に多い。9月には、南風の割合が減少し、西風の頻度が増大するとともに、風速が増大する。

秋期には、タタール（間宮）海峡では、主として、西向きの風が吹くが、その平均風速は秒速5～7メートルである。タタール（間宮）海峡では、冬期には、北向きおよび北西向きの風が最も頻繁に吹くが、その平均風速は秒速約6メートルである。

海洋事故を検討するために再分析法によって構成された強風の風速および風向きにおける反復の仕方の特徴は、図・9.2.1.2-1に示されている。

モデル「OILMAP」を使用したモデル化のための気象シナリオを準備するために、風速の時系列から、いくつかの風域が再現された。これは、Oceanweather社によって作成された20年間の遡及による予測に従って、6時間間隔で再現されたものである。遡及分析のデータの主要な基礎としては、Oceanweather社が作成し直したNOAAの世界的なプロジェクト「NCEP」の風域も使用された。補足的に、風の場の修正に際しては、世界気象機構(WMO)をベースとする船舶および海岸の気象観測所の気象データも利用された。図・9.2.1.2-2には、作成された網の目図が示されている。この図は、モデル「OILMAP」を使用してモデル化するための風域を作成する際に利用された。

### 波のパラメーター

サハリン東岸地域用に、船舶の観測データを作成した結果に従って、石油流出のシミュレーションの時に、特に作成された混合波の頻度は、表・9.2.1.2-4に示された通りである。年間のうち温暖期には、比較的「静か」であるが、秋期は「嵐の季節」で、嵐は11月に最大限に達する。風による波が形成される場合に主要な役割を演じているのは、北方、東方、南方、及び南東方に向けた風である。

表 9.2.1.2-4 : サハリン東岸の混合波の頻度 (%)

	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
波高 (m)							
風	8.5	12.5	11.6	7.2	8.9	0.9	8.3
0.5~1.0	56.3	50.0	52.2	41.2	38.4	24.8	43.8
1.1~2.0	28.2	30.6	29.5	35.4	34.4	42.5	33.4
2.1~3.0	5.6	5.3	6.0	12.0	11.8	22.1	10.5
3.1~4.0	1.4	1.3	0.3	3.0	4.7	8.0	3.1
4.1~5.0		0.1	0.3	0.7	1.2	0.0	0.4
5.1~6.0		0.1		0.5	0.5	1.8	0.5
6m 超					0.5		0.0
波の持続時間 (秒)							
3 秒未満	20.0	22.4	18.8	14.7	13.1	15.3	17.4
3~5	37.1	19.2	18.3	16.3	29.1	18.4	23.1
5~7	30.0	38.7	40.8	41.9	34.0	31.6	36.2
7~11	7.1	14.5	13.5	22.8	19.6	27.6	17.5
11~13	0.0	0.5	1.1	0.1	0.8	2.0	0.8
13~15	5.7	4.7	7.5	4.2	2.9	5.1	5.0
15~17					0.3		0.04
17 秒超					0.3		0.04

タートル (間宮) 波の船舶観測データによる海峡北部の混合波の頻度は、表・9.2.1.2-5 に示されている。表を分析すると、2メートル以下の波高の波は年間を通じてほぼ同じ頻度で見られる。3メートル以上の波高の波は、秋には頻度が高く、10月に最も多い。春と夏には南向きの風による波が多く、秋には波の方向が北（北東-北西）向きのものに変わる。

表 9.2.1.2-5 : タタール (間宮) 海峡地域の混合波の頻度 (%)

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	年平均
波高 (m)								
風	24.5	27.7	29.0	29.8	19.5	19.9	18.2	24.1
0.5~1.0	47.0	47.5	43.8	41.0	47.2	43.2	48.1	24.1
1.1~2.0	19.5	18.3	20.3	21.4	24.0	23.9	25.5	21.8
2.1~3.0	6.8	5.5	6.2	6.7	7.7	11.2	6.9	7.3
3.1~4.0	2.1	0.9	0.4	0.8	1.4	1.7	0.9	1.2
4.1~5.0		0.2	0.2	0.3	0.3		0.4	0.2
5.1~6.0			0.1			0.1		0.03
波の持続時間 (秒)								
3秒未満	59.7	63.0	62.3	61.4	57.3	52.2	57.6	59.1
3~5	13.4	13.8	13.0	13.1	14.3	20.0	18.6	15.2
5~7	21.3	17.0	19.3	18.9	22.2	20.9	18.2	10.6
7~9	4.6	3.2	3.6	4.1	4.0	4.3	1.7	3.6
9~11	0.9	0.9	0.8	0.9	1.0	0.6	1.7	1.0
11~13		0.6	0.2	0.1	0.6	0.4	0.4	0.3
13~15	0.2	1.4	0.8	1.4	0.6	1.6	1.7	1.1

### 表層流の特徴

#### サハリンの北東大陸棚：

サハリンの北東大陸棚では、全体としては、子午線方向の流れが多い。南からの流れの年間平均頻度は、北からの流れの頻度を大幅に上回る。そして、それは、東サハリン海流の沿岸分流が「チャイヴォ」鉱床水域を通過することによって条件付けられている。

北東サハリンの大陸棚での潮流の条件の下では、水の循環の仕方を2種類に分けるべきである。すなわち、夏期の循環と秋期（冬期）の循環とに。サハリン島の北東沿岸における水の循環と3次元潮流の分布水域の再現は、深海海洋観測データを利用して、2次元のバロクリン・モデル（訳注：ロシア語の原文は baroklinnaya model）の枠内で実行される。図・9.2.1.2-3 には、弱い南風、南東風、北東風、西風、北風の影響の下で形成される表層流の速度の分布水域が示されている。

夏期には、南風の影響の下で、北向きの噴流の発達と浅海域でのその速度の昂進が起こる（図・9.2.1.2-3、a、b、c）。これにより、東サハリン潮流がブロックされる。そのような場合、その流れが速い部分は、大陸棚外縁部の外側に向かってずれることがあり得る。秋期（図・9.2.1.2-3、d、e、f）には、安定した西風および北西風の影響によって東サハリン潮

流の強化（秒速 50 cm 未満）とサハリン島の北東沿岸水域における表層流の水位の低下の促進が生じる。

2次元のバロクリン・モデル (baroklinnaya model) の適用をテストすることによって、潮流の分布水域の統計的特徴と実際の観察の正確さがよく符合していることが示されているが、そのことは、作成された潮流図の正確さを確認している。図・9.2.1.2-4には、潮流の頻度を方向別、速度別に分類したダイヤグラムが示されている。これは、夏期および秋期の一連の計器観測によって「オルラン」プラットフォームの設置区域について作成されたものである。

#### タタール（間宮）海峡：

タタール（間宮）海峡では年間を通じて循環的潮流が多い。対馬海流の水の流れは、モネロン島の西側の海峡南西部に入る。対馬海流の水は、タタール（間宮）海峡に入ると、モネロン島を迂回して、一部は南方に戻り、ラ・ペルーズ（宗谷）海峡に入る（図・9.2.1.1-1）が、その大部分は、北方に流れ続けて、その後、深さが急激に変わり、大陸棚の浅瀬が広範に広がるために、西に向きを変えて沿海（プリモールスキー）海流になる。

水深の浅い海峡北部では、潮流の分布水域の季節変動が大きいのが特徴である。これは、主としてどの方向の風が多いかということによって決定される。季節の変わり目（春、秋）には、海峡北部では循環水の渦巻き構造が認められる。

温暖期には海峡の大部分で、表層流の速度の分布水域では、北方および北西の方向への流れが多い。表層流の比較的速い（秒速 0.5~0.75メートルおよびそれ以上）ところは、島のそばの浅瀬および大陸棚にある深みである。冬には沿海（プリモールスキー）海流域で見られる（秒速 0.3~0.4メートル）。

タタール（間宮）海峡における3次元の潮流の再現は、2次元のバロクリン・モデルの枠内で (Budaeva, Makarov, 1999年)、1950~1990年の夏期、秋期、冬期に実施された深海海洋観測データ（温度、塩分濃度）を使用して行われた（図・9.2.1.2-5）。

想定された潮流図の統計的特徴とそれに対応するタタール（間宮）海峡で測定された一連の計器観測の統計的特徴（図・9.2.1.2-6）を比較すると、両者がよく一致していることが明らかである。

#### ラ・ペルーズ（宗谷）海峡、アニワ湾：

現在入手出来る最新のデータ（Bobkov、1990年、1992年；Budaeva and Makarov, 1996; Pishchalnik, Arkhipkin, 1999）によると、ラ・ペルーズ（宗谷）海峡およびアニワ湾水の水平循環の基本的な要素は次の通りである。

- 宗谷暖流：季節の変わり目には北海道のオホーツク海沿岸で、さまざまな特徴の回転渦を伴う連鎖として観察される。最大に発達する夏期だけは比較的細い流れの形を取る。
- 循環的な蛇行渦巻き：宗谷海峡西部の入口で、北西から南東に向かう大きな半円を伴う宗谷海流を形成する。
- ラ・ペルーズ（宗谷）海峡の南東部の循環性渦巻き：
- 「準静止的な」反循環性渦巻き：アニワ湾の全水域を覆っている。
- 東サハリン寒流の支流：東からラ・ペルーズ（宗谷）海峡に入る。

ラ・ペルーズ（宗谷）海峡およびアニワ湾では、満潮は、一昼夜毎の不規則な変動をする。アニワ湾北部の浅い水域では、半日毎の不規則なタイプの満潮が多い。その速度は最大で秒速 60 センチメートルである。宗谷岬とクリリオン岬を結ぶ線上およびカーメン・オパースノスチ暗礁の近くでは、満潮の速度は秒速 360 センチメートルに達することがある。

#### モデル「OILMAP」の潮流

使用されている潮流域は、投入された座標方眼図を使用した図・9.2.1.2-7 に示されている海域を含む海面について作成されている。主要な方眼図は 20km の解明度があり、オホーツク海全体をカバーしている。水深 100 メートルの大陸棚での計算を詳細化するために、解明度が半分に減少し、10km となっている。水深がもっと浅い沿岸地域では、解明度は 5 km にまで減少している。

潮流のモデルには、それを構成している残りの季節的な潮流および満潮が含まれる。それには次の 4 つの満潮が含まれる。すなわち、M2、S2、K1、O1 である。構成している満潮のデータを一般化したものが (Isaji 他、2001 年) に記載されている。海域の開かれた境界では、オレゴン大学の遡及満潮モデル (訳注：英語の略語 TPX05) のデータを使用して作成されている。

ほかの潮流における非満潮の季節的構成は、ロス・アラモス国立研究所 (Parallel Ocean Program (POP)、Los Alamos National Lab) および海軍大学大学院 (Naval Postgraduate School) のモデル化の結果に基づいて計算されている。モデルには、温度、塩分濃度、風域のデータを加工したものが含まれている。モデル化には 1985 年 1 月 1 日から 1995 年 12 月 31 日までの 10 年間のデータが含まれている。その際、平均水平解明度は緯度および経度 20 分である (Maltrud 他、1998 年)。季節的潮流の例として、「オルラン」プラットフォームの夏期潮流の計算例が図・9.2.1.2-7 に示されている。

## 水温

サハリン大陸棚の水温の垂直分布は図・9.2.1.2-8 に示されている。北東サハリンの大陸棚における水温 50 メートル以下の全ての水位では、6月～10月の期間についての水平分布において疑似子午線的な特徴を有している。

タートル（間宮）海峡での水温の垂直分布は、図・9.2.1.2-9 に示されている。夏期には、水温は非対称的分布を示している。すなわち、タートル（間宮）海峡の沿岸部では数値が高く、水深の深い部分では数値が低いという特徴がある。秋期には、海面の水温は何処でも下がっている。冬期には、タートル（間宮）海峡の海域は氷で覆われる。小氷下での海水の水温の測定により、水深の浅い海域では、冬期には、海水の凍結温度に近い水温であることが確認されている。

## 氷の状態の特徴

氷の状態のパラメーターは石油流出の冬期でのシナリオのモデル化に際して利用される。氷の状態での特徴のモデル化にとって最も重要なのは次の事項である。すなわち、氷原の縁の状態、流氷の速度と方向、氷の密度である。

サハリン島北東部大陸棚の氷の状態：冬期には、サハリン島北東部の大陸棚のエリザヴェータ岬からテルペニエ岬までの海域は氷で覆われる。

北東部の氷塊の全体とチャイヴォ区域に特徴的なのは、主として子午線に沿って海岸まで伸びた氷の帯が形成されること、流氷と定着氷との境界になることである。

2月から4月にかけては、氷に覆われた大陸棚の海域では、厚さ 70～120 cm の1年もの氷が圧倒的に多い。3月～4月には、流氷の縁は最も東に伸びる。西の縁では、強力に密集した厚い氷（2.5メートルに達する）と中規模の厚さの1年もの氷の帯が形成される。

人工衛星を利用した定着氷の移動の観測データによって (Astafev 他、1997 年)、いくつかの月についてサハリン島の大陸棚での流氷の主流の速度の評価が得られた (表・9.2.1.2-6)。

表 9.2.1.2-6 : サハリン島北東部大陸棚での流氷の主流の速度の最大値、最小値及び平均値 (m/s)

	サハリン島北東部大陸棚の流氷の主流の速度		
	平均値	最大値	最小値
1月	0.31	1.10	0.09
2月	0.31	0.55	0.08
3月	0.19	0.46	0.03
4月	0.12	0.14	0.06

図・9.2.1.2-10 では、サハリン島の大陸棚の北東部での月平均の氷の厚さおよび密度の数値の変化が示されている。流氷の密度および形の数値は、1956～1990 年の期間についてのサハリン気象台 (SakhUGMS) の航空機による氷状観測データによって作成された (Pokrashenko、1995 年)。

タタール (間宮) 海峡の氷の状態 : タタール (間宮) 海峡の温暖な海洋では、氷は、11月の末になってようやく現れる。以前には、タタール (間宮) 海峡での結氷は、10月後半に始まっている。安定した結氷の開始の振幅 (amplitude) は 30 日に達している (Kryndin, 1964; Yakunin, 1995)。

12月に、流氷原によって覆われるのは、大陸側の沿岸よりもサハリン島に沿った海域の方が早く起こる。12月末になると、海峡の東北部での流氷原は拡大して、流氷原の縁がシュルクム岬の緯度に達した後に、方向が変わる。1月上旬には、流氷原は、タタール (間宮) 海峡の北部全体を覆い、ほぼラマノン岬の緯度にまで達する (Yakunin, 1995)。

通常、タタール (間宮) 海峡の流氷原は2月の半ばに最大に達する。しかしながら、氷結が最小の年には、流氷原が最大化が1ヶ月早く始まることあり得る。若干の年には結氷の最大化が、1月上旬から3月上旬にかけて始まることあり得るが、その頻度の最大化は2月の中旬に生じている (日本海、2001年)。

タタール (間宮) 海峡の結氷期の平均継続期間は 190 昼夜である。冬の厳しさの程度によって、この期間は1ヶ月長くなったり、短くなったりすることあり得る。

図・9.2.1.2-11では、12月半ば、1月、2月、3月（1960年～2000年）について、流氷の縁の状態を平均的なもの（avr）と可能な最大限のもの（max）が示されている。

図・9.2.1.2-12では、タートル（間宮）海峡の流氷を一般化したグラフが示されている。これはL. P. ヤクーニンによって一連の偶然の発見について作成されたものである（日本海、2001年）。作成された流氷のグラフによると、流氷は、南の方向に平均速度0.23～0.25メートル/秒で移動している。速度は、最大限3メートル/秒に達することがあり得る。

## 9.2.2 石油流出のモデル化

### 9.2.2-1 モデルおよび方法の概要

「VOS 3.2」のプログラムを使用してモデル化する場合には、使用されている方法およびモデルは、条件によって、典型的な環境条件を構成する気象モデルおよび石油の移動を記述したモデルに分けることが出来る。気象モデルのデータのメカニズムおよび源泉についてのより詳細な情報は、Kochergin 他、2000年、補論No.1、7.3篇に示されている。

対応する気象条件は、以下の状況について示されている。

- 3月、8月、10月の典型的な条件。
- 極値状況についてのシナリオ。
- 確率によるモデル化のためのシナリオ。その結果を利用して、石油流出の影響を受ける海域の図を作成することが出来る。

石油の動きのモデルと方法には以下のことが含まれる。

- 油汚染水 (nephtie piatna) の移動の軌跡モデル (Kochergin 他、2000年、補論No.1、7.3篇)。
- 油汚染水の物理・化学的プロセスのモデル (Kochergin 他、2000年、補論No.1、7.3篇)。
- 海底起伏物または海中への石油流出による油汚染水の移動の評価についてロシアで確立した方法 (Kochergin 他、2000年、補論No.1、7.3篇)。

軌跡モデルを利用すれば、汚染水の軌跡が明らかになるし、汚染水の移動の速度と方向

の評価および海岸に到達する石油の量の評価が与えられる。その後で、漸進モデルの枠内で、汚染水での物理・化学的プロセス（蒸発、エマルジョン化および分散）および残っている石油の量および容積が算定される。

冬期の計算に際しては、氷塊の密度が考慮される。氷を含むモデルの網の目に石油が入る際には、同一の密度の石油が氷塊の表面に付着し、残りの石油は開水域で(v otkruivu)移動し続ける。油汚染(nephtianogo zagriaznenie)が10級の帯域に至る際に、石油は、氷塊の表面で一斉に溶離されると考えられる。石油の一部が氷に付着した後で作用し続ける唯一のメカニズムは、石油の蒸発のプロセスである。サハリンの北東海岸が幅2～3kmの定着氷の層で覆われる冬期には、石油は、モデルの条件によれば「岸」に到達しなければならないが、実際には定着氷の縁だけを覆っている。この場合、石油が直接沿岸域に到達することは可能である。運搬モデルを使用して示されている状況の間の区別をすることは出来なくて、石油が、実際にそこが岸であるか、定着氷の縁であるかどうかは別として、「岸」に到達すると推測することが出来るだけである。

「エクソン・モービル」社は、プログラム・コンプレックス「O I LMAP」を利用して、石油流出の軌跡および推移をモデル化している。「O I LMAP」は、さまざまな機能別課題のためのプログラム・モジュールの選択を含むプログラム・コンプレックスである。このモデルは、アプライド・サイエンス・アソシエーツ・インク社 (Applied Science Associates Inc.) (A S A) によって作成されたもので、石油探査、石油採掘、石油輸送の分野の政府機関および民間企業によって利用されている。「エクソン・モービル」社は、風および潮流のさまざまなパラメーターの下で石油の漂流および蒸発を予測するために適用されているこのプログラムの2次元版を利用している。同モデルは、G U I (Graphical User Interface) のメニューを含むシステムを伴うパソコンに基づいて作動し、以下の構成部分を含んでいる。

- 軌跡モデル化ブロック。
- 確率モデル化ブロック。
- 空間でのモデルの性格を評価するための地図情報システム (Geographic Information System) (G I S)。
- ユーザーが入力パラメーターを変更し、モデルを駆動させ、出力パラメーターを見ることを可能にするG U I システム。

- 石油の組成に関するデータ・ベース。
- モデル化を行うための風および潮流に関するデータ・ベース。

このモデルは、流出石油の表面における軌跡の予測を行うが、その際、石油の表面における総量のバランスを維持する。石油流出は、それぞれが全ての流出石油と同一の留分構成である石油の各部分の数量によって示される。石油汚染水は、風と潮流の影響の下で移動する。その際、汚染域の拡散のメカニズムおよび乱流の力が考慮に入れられる。石油汚染水は、表面から蒸発し、拡散したりするし、沿岸地域では岸に到達することがあり得る。

移動のプロセスは、ラグランジュ法（訳注：ラグランジュ（1736～1813）はフランスの数学者で、数学、力学の発展に寄与した）を利用してモデル化されている。汚染水の移動の速度は風、満潮および残留潮流の影響によって決まる。その際、ユーザーは、さまざまな要因の影響の係数を与えることが出来る。石油の拡散のモデル化は、石油汚染水の基本的な質量（全量の90%を含む）の移動がモデル化される理論によって行われる（Maskay 其他、1980年）。スティヴェルおよびマスクエイの蒸発モデルも利用される（Stiver、Maskay、1984年）。

確率モデルは、単一の流出源からの個々の石油流出における軌跡の予測の選択を保証する。軌跡を残す移動は、どれも、環境条件の自然の変化が起こる月に、任意に始まる。風の条件におけるデータの蓄積が十分に長い期間（5年以上）にわたって存在する場合には、開始時期は、与えられた時期の中で任意に選ばれる。風の条件におけるデータの蓄積が十分に長い期間について存在しない場合には、モデルでは、確率推計表から取り出した月毎の風速および風の方向が利用される。その結果得られる軌跡は、石油による海面および海岸線（流出石油が海岸線に到達する場合）の汚染の推定輪郭図を作成するために相互に重ね合わされる。

モデルについての補足的な情報は Technical Manual (ASA, 2000) で見出すことが出来る。

### 9.2.2.2 「オルラン」プラットフォームからの石油流出

サハリンの北東部大陸棚での石油流出の動きを統計的に評価するために、50件の気象シナリオによる計算が行われた。これらのシナリオは、風および潮流における実際の観測についての全ての統計的属性を維持することを考慮した典型的な状況から構成されている。各シナリオの時間の長さは、30昼夜である。また、いくつかの典型的なシナリオについての計算も行われた。

計算の結果には次の事項が含まれている。

- 見込み上の3シーズンに、その油汚染水が到達する可能性のある水域(図・9.2.2.2-1)。
- 1昼夜、3昼夜、5昼夜、10昼夜、20昼夜、30昼夜について、流出源から油汚染水の拡散(最遠隔点までの)があり得るゾーン(図・9.2.2.2-2)。
- 流出開始から1昼夜、3昼夜、5昼夜、10昼夜、20昼夜、30昼夜後のサハリン沿岸のさまざまな地区に押し寄せる確率の計算(図・9.2.2.2-3)。
- 油汚染水が海岸に押し寄せる平均的確率の計算(図・9.2.2.2-4)。
- 30昼夜の間における油汚染水の面積およびその動きの計算(図・9.2.2.2-5)。
- 夏期の気象条件の下での主として南風が吹く時の海岸線における汚染の軌跡およびパラメーターの計算(図・9.2.2.2-6)。
- 夏期の気象条件の下での極端な東風が吹く時の海岸線における汚染の軌跡およびパラメーターの計算(図・9.2.2.2-7)。

面積の計算は2つのヴァリエーションについて行われた(図・9.2.2.2-5)。すなわち、油汚染水が海岸に押し寄せるのを考慮した場合と、考慮しない場合についてである。前者の場合は、汚染水が海岸線に押し寄せる以前の時点までの、海面での油汚染水の面積の平均値が求められている。後者の場合は、30昼夜にわたるシミュレーション期間の最後の時点までの平均値が出されている。

これらの図で示されているモデル化の結果は、特に言及した場合を除いて、モデル「VOS」から得られた。

### 9.2.2.3 タタール(間宮)海峡でのタンカー事故

タタール(間宮)海峡であり得る流出石油の移動を評価する際に、10年間にわたる実際の風の状況を取り入れて、軌跡のモデル化が行われた。軌跡モデルのシナリオは、モデル「VOS」用に12時間刻みの場合とモデル「OILMAP」用に1時間刻みの場合を想定して作成された。最長計算時間はモデル「VOS 3.2」では30昼夜、モデル「OILMAP」では60昼夜である。また、いくつかの典型的なシナリオについての計算も行われた。

以下に示されているのは、その結果である。

- タンカー事故の場所の北側および南側の位置での石油拡散の確率地図と石油流出の時間的な輪郭図。モデル「V O S 3.2」による30昼夜についての計算結果：流出場所の北側の位置で、夏の場合（図・9.2.2.3-1）；流出場所の南側の位置で、夏の場合（図・9.2.2.3-2）；流出場所の北側の位置で、秋の場合（図・9.2.2.3-3）；流出場所の南側の位置で、秋の場合（図・9.2.2.3-4）；流出場所の北側の位置で、冬の場合（図・9.2.2.3-5）。モデル「O I L M A P」による60昼夜についての比較結果：流出場所の北側の位置で、夏の場合（図・9.2.2.3-6）；流出場所の北側の位置で、秋の場合（図・9.2.2.3-7）；流出場所の南側の位置で、夏の場合（図・9.2.2.3-8）；流出場所の南側の位置で、冬の場合（図・9.2.2.3-9）。
- タタール（間宮）海峡での事故の時点から1昼夜後、3昼夜後、5昼夜後、10昼夜後、20昼夜後に、30昼夜後に汚染水が海岸に押し寄せる確率の計算（北側および南側の位置）：夏—図・9.2.2.3-10、秋—図・9.2.2.3-11、冬—図・9.2.2.3-12。
- タタール（間宮）海峡でのタンカー事故から30昼夜の期間についての流出石油のフェーズ構成での中規模の変化の計算（北側および南側の位置）（図・9.2.2.3-13）。
- 石油汚染水域の面積および石油のフェーズ毎での特徴の計算（図・9.2.2.3-14）。
- 8月～9月の4種類の風についてのタタール（間宮）海峡の南部でのタンカー事故の場合における石油の移動軌跡の計算：累積頻度 (obespechehosti) 50%の風の支配的な風向きと速度、累積頻度 95%の風の支配的な風向きと速度、大陸方向に吹き累積頻度 50%の風、サハリン島の方向に吹き累積頻度 50%の風（図・9.2.2.3-15）。

#### 9.2.2.4 ラ・ペルーズ（宗谷）海峡の入口でのタンカー事故

ラ・ペルーズ（宗谷）海峡の西側の入口での事故の場合に想定される石油の移動を評価する際に、10年間にわたる実際の風の状況を取り入れて軌跡モデル化が行われた。計算の期間は、モデル「V O S 3.2」については30昼夜、モデル「O I L M A P」については90昼夜であった。いくつかの典型的なシナリオについての計算も行われた。

計算の結果には以下のことが含まれる。

- ラ・ペルーズ（宗谷）海峡の入口でのタンカー事故の際の30昼夜にわたる油汚染水の潜在的な拡散の地図の作成と石油流出の時間的な輪郭図。「VOS 3.2」による30昼夜にわたる計算の結果：夏（図・9.2.2.4-1）、秋（図・9.2.2.4-2）、冬（図・9.2.2.4-3）。モデル「OILMAP」による90昼夜にわたる比較計算の結果：夏（図・9.2.2.4-4）、冬（図・9.2.2.4-5）。
- ラ・ペルーズ（宗谷）海峡入口でのタンカー事故から1昼夜後、3昼夜後、5昼夜後、10昼夜後、20昼夜後、30昼夜後に石油汚染水が海岸に押し寄せる確率の計算：夏、秋、冬—図・9.2.2.4-6。

### 9.2.2.5 ボーリング作業場での石油流出

海上への流出石油の移動(povedenie i perenoca)のモデルは、接岸する石油の移動のモデル化を取り扱わない。炭化水素分を含有する流出石油の一部が付近の水の中に入る場合における場合にもそうである。モデルのデータは、複雑な海岸のプロセスのモデル化を想定していない。陸上での石油流出の結果についての予測のためには、「専門家による評価」を利用するか、「専門家による意見」に依拠する方がよい。そのようなアプローチはボーリング作業場「チャイヴォ」に適用されるであろう。

陸上でのボーリング作業場「チャイヴォ」での流出は、プラットフォーム「オルラン」でのシナリオと似ている。しかしながら、陸上での油井の噴出の影響を除去するために要求される時間は、海上での同様な作業の場合よりも短く、14昼夜と見込まれる。

陸上のボーリング作業場「チャイヴォ」で起こり得る流出石油の移動についての専門家による評価は次のような予測を想定している。油井のコントロールが失われた場合には、石油は、概ね、同一の確率で、起伏のある地形に沿って、西側からはチャイヴォ湾に、東側からは海岸よりの海に入ることがあり得る。石油は、水中に入るまでに、蒸発および土壌への浸透によって失われることもあり得る。ボーリングの櫓から海中のボーリング地点までの距離は約100メートルであるが、チャイヴォ湾ではその距離はそれよりもやや長い。起伏の多い地形に沿ってチャイヴォ湾に石油が流入する場合には、岸から突き出た細い州にある小さい湖に石油が溜まる可能性がある。石油は、夏にチャイヴォ湾に流入する場合には、極めてゆっくりと湾内に広がる。その理由は、岸の近くでは浅く、繁茂した大型植物が存在し、潟（訳注：英語の lagoon。海の一部が砂州等によって外海と遮断されて出来た湖沼）では、水路を除けば、風も潮流も速くないことである。秋には、潟の汚染は、極めて酷くなり得る。石油汚染水が水路に到達する場合の移動速度は、開口部では、流入する潮流の影響の下で、毎秒約10cmである。流入する潮流によって逆流が形成され、ラグーン（潟）の内部での石油汚染水の拡散を促進するであろう。

石油が、ボーリング作業場のある東側から、渦経由または直接海に入る場合には、石油汚染水の動きは2つの要因によって決定される。すなわち、石油の一部は、沿岸流の影響の下で、海岸沿いに移動する。別の一部は、風と引き潮の影響の下で、岸から遠ざかる。この場合、石油の移動の統計は、プラットフォーム「オルラン」地区で想定される石油流出の場合に類似している。

### 9.2.2.6 チハチェフ湾およびネヴェリスコイ海峡での流出

起こり得る石油流出による石油の移動のあり得る方向および速度は、専門家による評価を利用してチハチェフ湾およびネヴェリスキー海峡での潮流および風の観測点での夏期の、石油汚染水の移動のローカル・ダイアグラムを作成することによって確定された（図・9.2.2.6-1）。チハチェフ湾での石油流出の潜在的な可能性は、デ・カストリ海上ターミナル地域でのタンカーの操業に原因があるが、ネヴェリスコイ海峡での石油流出の潜在的な可能性はサハリンから大陸への輸送のためのパイプラインの破損に原因がある。流出石油の移動のベクトルは総潮流の速度および推進風の速度の3%のベクトルの合成によって決定された。その後、図・9.2.2.6-1 に示されている移動ベクトルの頻度およびダイアグラムの表が作成された。図から明らかのように、チハチェフ湾と、潮流の動きが遥かに強力なネヴェリスコイ海峡とでは流出石油の移動の速度に大きな相違がある。チハチェフ湾では、夏期の石油の移動に対する潮流と風の寄与度はほぼ同一であるが、ネヴェリスコイ海峡では、移動の仕方は主として潮流によって決定されているということを指摘しておかなければならない。使用されている一連の計器によると、2001年の夏の2カ月余の観測期間には実際に強い風はなかった（この海域では低気圧も出現しなかったし、強力な気圧の変動もなかった）。

### 9.2.3 潜在的な汚染の規模と特徴の評価

石油流出の質的なモデル化の結果は、3つの季節についての2つの異なるモデルおよび起こり得る事故の4つの流出源に即して示されている。これには、「オルラン」プラットフォームおよび3隻のタンカーの位置が含まれる。さらに3つの補足的な潜在的シナリオについても若干の質的な評価が行われるが、これには、「チャイヴォ」のボーリング作業場、チハチェフ湾およびネヴェリスコイ海峡が含まれる。

モデル化の結果による主要な結論は以下のように定式化することが出来る。

### 「オルラン」プラットフォームからの流出

夏期（8月～9月）には比較的弱い南風および南東の風が主として吹く。その際、石油の皮膜の北方に向けての僅かな移動が起こる確立が高いが、南に向けての漂流もあり得る。実際の統計を用いたシナリオで起こり得る石油の移動の規模は、最大限に評価した場合、次の通りである（平均移動規模は約30%小さい）。

- 1昼夜で、何れも最大限で、北方へ40km、西方へ20km、南方へ40kmで、チャイヴォ湾地区の海岸に押し寄せる可能性がある。
- 3昼夜で、最大限、北方120km、西方50km、南方110km。
- 5昼夜で、最大限、北方200km、西方55km、南方120km。

秋期（10月～11月）には、北西方への方向転換を伴った風が強まることがある。その結果、表層水の南方への移動が強化される。従って、石油皮膜の南方および南東方への漂流が支配的になる。実際の統計を使用したシナリオで起こり得る石油の移動の規模は、最大限に評価した場合、次の通りである。

- 1昼夜で、最大限、北方30km、西方40km、南方75kmで、チャイヴォ湾岸およびその以南に到達する可能性がある。
- 3昼夜で、最大限、北方70km、西方100km、南方220km。
- 3昼夜で、最大限、北方110km、西方160km、南方360km。

冬期（2月～3月）には、石油の移動は南方に向かい、サハリンの大陸棚に特有の「氷の川」を伴う大陸棚に達する。実際の統計を使用したシナリオで起こり得る石油の移動の規模は、最大限に評価した場合、次の通りである。

- 1昼夜で、最大限、北方15km、西方10km、南方80km、チャイヴォ湾域およびそれ以南に氷結塊が到達する可能性がある。
- 3昼夜で、最大限、北方20km、西方25km、南方190kmに。
- 5昼夜で、最大限、北方25km、西方35km、南方250kmに。

夏期のシナリオでは、方法上および気象上の条件は、次の通りである。すなわち、流出石油の移動は南方に向かうが、遠方でも北海道への到達は実際には不可能であるというも

のである。これは、理論的には、非常に大きな異常気象の年のみに可能である。

計算から得られたところによると、秋期には、流出石油が30昼夜で日本に直接到達する確率は小さい。テルペニヤ岬から北海道までの海域の循環図によると、汚染水が南方に直接移動するのを妨げる渦巻流のシステムが存在する。風が、汚染水の東方のクリール（千島）列島側への移動を促進している。強力な渦巻流の形成のために、汚染水がテルペニヤ湾に入ることがあり得るし（軌跡の約20%がテルペニヤ岬沖を通過後、テルペニヤ湾に入っている）、さらには、確率は小さいが、アニワ湾まで漂流することさえあり得る。

30昼夜にわたるシナリオによるモデル化の結果によると、石油汚染水が接岸する確率は、夏期には71%、秋期には34%、冬期には21%である。汚染水の接岸が最大の割合で観察されるのは3昼夜にわたってである。特別に不利な気象条件の場合には、石油汚染水の接岸に要する計算上の時間は、夏期および秋期には6～8時間である。

「チャイヴォ」海域の「オルラン」プラットフォームからの流出による汚染域の面積は、流出開始後21昼夜の間増大し、その後、増大は緩慢になる。汚染水が外洋に漂流する場合（接岸しないで）、汚染域の面積は、夏期には3300km<sup>2</sup>、秋期には3700 km<sup>2</sup>に達するであろう。冬期には、凍結が高度に進行する結果、面積はそれほど増大しなくて、1600 km<sup>2</sup>であると評価されている。

流出開始後最初の数日で、総量の約60%が蒸発し、海水中での石油の分散は5%近くに達する。

「水の中に石油が包まれる」エマルジョンが形成されることにより、混合物の量は、水中に残留している石油の量の約3倍に増大する。

#### タタール海峡（間宮海峡）の北端および南端でのタンカー事故

夏期（8月～9月）には、風が弱いという特徴があり、表層流の速度も比較的小さい。比較的弱い南風および南東風が優勢である。その際、石油汚染水が北方に移動する確率が大きい、その他の方向への漂流もあり得る。「VOS 3.2」および「OILMAP」によるモデル化の結果は、夏期には、北端での流出の場合には、起こり得る石油の移動の比較可能な規模は、次の通りである。

- 1昼夜で、最大限、北方に25km、東方に40km、南方に50km、西方に25km。
- 3昼夜で、最大限、北方に50km、東方に80km、南方に80km、西方に35km、シュルクム岬海域およびそれ以南に接岸することがあり得る。

## 第6巻 第9章

## 石油流出の影響および発生後の対策

- 5昼夜で、最大限、北方 75km、東方 100km、サハリン西岸に到達する。南方に 95km、西方に 35km に接岸することもあり得る。

夏期に、南端で起こり得ることは次の通りである。

- 1 昼夜で、北方に 45km、東方に 40km、西方に 30km。
- 3 昼夜で、北方に 100km、東方に 90km、ホルムスク・ネヴェリスク市の海域でサハリンに接岸する。また、南方に 35km、西方に 75km まで。
- 5 昼夜で、北方に 160km、東方に 100km、サハリン西岸に到達する。また、南方に 45km、西方に 95km まで。

秋期（10月～11月）には風が強くなり、風向が北西に転換する。その結果、表層水の南東への移動が強まる。それに応じて、石油汚染水は東方および南東の方向への漂流が支配的になる。北端について実際の統計を使用したシナリオによって起こり得る石油の移動規模を最大限に評価した結果は次の通りである。

- 1 昼夜で、北方に 30km、東方に 60km、南方に 50km、西方に 15km まで。
- 3 昼夜で、北方に 40km、東方に 95km、サハリン西岸に到達する。また、南方に 125km、西方に 25km まで。
- 5 昼夜で、北方に 75km、東方に 100km、サハリン西岸に到達する。また、南方に 150km、西方に 35km、シュルクム岬およびそれ以南の沿岸に到達する。

秋期には、南端では移動の方向は圧倒的に東および南東である。その際、流出開始後 2 昼夜で接岸することがあり得る。10 昼夜後には、ラ・ペルーズ（宗谷）海峡に汚染水が入る可能性がある。モネロン島の自然保護区に汚染水が広がれば、特に危険である。

## 第6巻 第9章

## 石油流出の影響および発生後の対策

冬期（2月～3月および3月～4月）には、流出石油の移動は、氷の状態に依存する。2月～3月には、石油は、主として、南方に移動するが、4月～5月には、風向の季節変動のために、移動の方向が北向きに変わることがあり得る。北端についての冬期（2月～3月）のシナリオでは、最大限に評価された石油の起こり得る移動の規模は次の通りである。

- 1昼夜で、北方に5km、東方に15km、南方に70km、西方に10kmまで。
- 3昼夜で、北方に8km、東方に35km、南方に120km、西方に15kmまで。
- 5昼夜で、北方に10km、東方に55km、南方に150km、西方に20kmまで。
- 8～10昼夜でサハリン西岸に到達することがあり得る。また、15～20昼夜で大陸沿岸に到達することがあり得る。

冬期（3月～4月）には、南端では、サハリンの西海岸線には3昼夜で、大陸の東海岸線には10昼夜で到達する見込みである。また、石油汚染水は、ラ・ペルーズ（宗谷）海峡にも、10昼夜で到達することが可能である。

夏期のシナリオでは、気象・水理条件は次の通りである。すなわち、流出石油が南方に移動して、北海道まで長距離を移動する確率は小さいというものである。秋期には、ラ・ペルーズ（宗谷）海峡、北海道およびアニワ湾に到達する確率は90%にまで増大する。

石油が北端の海岸に到達する可能性は、夏期には58%、秋期には84%、冬期には22%である。南端では、石油汚染域が接岸する確率は、それぞれの季節について、これより大きい。すなわち、夏期73%、秋期90%、冬期27%である。これは、南端では、サハリン西岸に到達する確率が高いことによるものである。夏期および冬期には、概ね流出時間に比例して接岸の確率が増大する傾向があることが認められる。秋期には、汚染水の接岸の確率が最大になるのは5～10昼夜後である。

タンカー事故による流出の際の、汚染域の面積は、岸との相互作用を考慮しなければ、夏期および秋期の場合には、平均して10昼夜で増大し、それぞれ300 km<sup>2</sup>および250 km<sup>2</sup>に達する。冬期には、汚染域面積の増大の過程には、物理・化学的屬性および南方に動く氷原の収斂現象（convergence）が影響を与える。その際、流出開始後最初の20昼夜の間に顕著な増大が起こり、その面積は400km<sup>2</sup>に達する。

全体として、汚染水の動き方の物理・化学的屬性は、先に分析されているサハリン大陸棚の場合の同様な特徴と類似している。しかしながら、石油の移動過程の時間的な特徴は流出が一斉に起こっているという性格のために若干異なる。軽質分溜の大部分は事故後最

初の12時間以内に蒸発する。さらに、流出後最初の2日以内に、流出石油の総量の約60%が蒸発する。モデル化されている状況の場合、石油の水中への分散は弱く、4%以内である。容積は、エマルジョン化のために2.5倍～3倍に増大する。

### ラ・ペルーズ（宗谷）海峡の入口でのタンカー事故

気象条件の特徴は、日本海からオホーツク海への表層水の移動が優勢なラ・ペルーズ（宗谷）海峡を通じて海水が入れ替わることである。夏期（8月～9月）には、主として、比較的弱い南風および南東風が吹く。その際、風の影響で、石油皮膜(plenka)が北方ないし北東の方向に多少移動する確率が大きい。宗谷海流のために石油皮膜が東方に漂流してラ・ペルーズ海峡（宗谷海峡）に入る可能性がある。そのことは、アニワ湾と北海道の沿岸の汚染を伴う。こうして、タンカー事故の想定位置は、競合するプロセスの相互作用の場所にあることになり、サハリン南西岸の汚染の可能性を伴う北方に移動することも、あるいは、東方に向かってラ・ペルーズ（宗谷）海峡経由でアニワ湾に移動することもあり得る。実際の統計を使用したシナリオによって最大限に評価された石油の移動は次の通りである。

- 1昼夜で、北方に20km、東方に70kmまで移動して、北海道沿岸またはサハリン南岸に到達する。また、南方に20km、西方に10kmまで移動する。
- 3昼夜で、北方に50km、東方に140km、南方に30km、西方に20kmまで移動する。
- 5昼夜で、最大限、北方に80km、東方に180km、南方に40km、西方に25kmまで移動する。

秋期（10月～11月）は、強風が吹くが、北西への方向転換を伴っている。その結果、表層水の南東の方向への移動が強まり、ラ・ペルーズ（宗谷）海峡経由でアニワ湾に入り、さらには北海道沿岸およびクリール（千島）列島に到達する。これに応じて、石油皮膜の東方および南東方への漂流が圧倒的に多くなる。夏期のヴァリエーションでは、汚染水の漂流速度が高まり、北海道沿岸にまで到達して、北海道の日本海沿岸を汚染するという特徴がある。流出後1昼夜後には、石油が北海道沿岸に到達する可能性がある。

冬期（2月～3月および3月～4月）のうち、2月～3月には、石油は、凍結度が小さい氷との相互作用の下で、南東方に移動する。そして、4月～5月には、風向の季節的な変化に応じて、石油の移動の方向が北方に変わることがあり得る。南東の方向への移動の特徴は、秋期と類似している。4月、5月の北方の方向への移動は夏期と類似している。

石油が漂流開始30昼夜後に接岸する可能性は、夏期には87%、秋期には68%、冬期には49%である。

全体として、汚染水の移動の物理・化学的属性は（岸との相互作用を考慮しなければ）既に検討したタートル（間宮）海峡でのタンカー事故の場合と類似している。

### 9.3 事故による流出石油の一掃

#### 9.3.1 流出石油を一掃する手段

本篇では、海上での流出石油の一掃のための可能な方策が検討される。これは氷がない場合と海面が氷で覆われている場合の両方についてである。現在、以下のような作業が行われられているが、これらの作業によって、プロジェクトおよび作業地域の特殊性を考慮に入れた上で、プロジェクトのその後の段階（サハリン地域フィージビリティ・スタディー（ロシア語：TEOS））での流出石油の一掃のための詳細な計画を作成することが可能になる。

1. 自然環境への影響があり得る作業地域の場所を特定するための詳細な調査を行う。
2. 海域、沿岸および陸上の場所、人の居住および動物の生息地域の特定と分類のために、流出石油に対して生態学的に敏感な地域の地図を作成する。この地図は、サハリン北東部の大陸棚のプロジェクト現場、サハリン島全域、タートル（間宮）海峡海域についてのものである。
3. 事故による流出石油の一掃のために動員される設備および人員を、必要性の程度に応じて選定し、配置する。その際、個々の現場の要求および調査結果、生態学的に敏感な地域の地図の作成ならびに各種の標準法令の規定が考慮に入れられる。設備の構成は、ロシアの法令および国際条約（国際海洋機構）に従って地域的および国際的な手段によって拡大することが出来る。
4. 流出石油の一掃のための総合的な計画を、全ての作業地域に即して作成する。これらの地域には、「オルラン」プラットフォーム、「チャイヴォ」および「オドプトウ」のボーリング作業場ならびにそこに接続しているパイプライン、陸上および海中のパイプライン、デ・カストリの海上ターミナル、タートル（間宮）海峡経由のタンカー輸送ルートが含まれる。これらの流出石油一掃計画はロシア標準法令の規定に合致するとともに、LARN（事故による流出石油一掃に従事する組織）の構成と職責の記述、流出石油一掃の可能な予測、採用される戦略および設備、監督機関への報告および協力の方法についての記述を含んでいなければならない。事故による流出石油一掃計画の典型的な内容は、付属資料・1に示されている。
5. ロシアの監督機関から現場に働きかける際には、準備・調整作業を開始する前に、事故による流出石油一掃のために選定された最新の設備を設置する。これに先立ってL

ARN（事故による流出石油一掃に従事する組織）の人員の綿密な養成および訓練が行われる。さらに、人員の養成は、「エクソン・ネフテガス・リミテッド」社の操業信頼性管理システム（訳注：英文略語OIMS）および国家機関の要求に従って、プロジェクトの全期間についての工程図に基づいて実施される。

年間の任意の時期での海上での流出石油除去のための可能な戦略および方法には、以下のことが含まれるであろう。

- 機械的な手段を利用して石油を物理的に収集を行う（オイル・フェンスおよび海面または薄い氷の表面から石油を除去するための装置、可能なら、船外に流出した石油を除去する装置、および／または厚い氷の上に少量の石油が流出した場合に石油によって汚染された氷を除去するための装置を使用）。
- 船舶および航空機から投下することが出来る分散剤を使用して海面から石油を除去する。
- 焼却によって海面から石油を除去する（海面または薄い氷の表面で、防火用フェンスで遮断して閉じ込めた石油を管理焼却したり、あるいは、氷で覆われている場合には、厚い皮膜の形を取った石油を現場で焼却したりする）。

これらの戦略および方法の記述は、次の順序で以下の各篇に示されている。すなわち、まず、海面から、次いで、氷で覆われた海中から、流出石油を一掃するという順序である。9.3.1.4 篇では、事故による流出石油の一掃のための代替手段および石油一掃のための代替シナリオが示されている。9.3.1.5 篇では、流出石油の追跡、モニタリング、観察が記述されている。これらは、LARNによる作業の過程でも、そのような方法の採用が不可能であると思われる場合にも使用される手段である。

### 9.3.1.1 海面からの流出石油の除去

流出石油の除去のための技術は、沿岸および海洋のエコシステムおよびそれに依存している生物資源に対する悪影響を最小限にして海面から石油を効果的に除去するためのものである。一般的な意見によると、沿岸および海洋の海水への原油および石油製品の流入が最大かつ最も長期にわたる損害をもたらすのは、石油が沿岸に漂着した場合に原因があるという。従って、流出石油の除去の基本的な戦略は、石油が沿岸に到達する前に、海面から石油を除去することである。石油を海面から除去するための広範に普及している技術には、機械的方法による石油の除去、分散剤の使用、石油の現場での焼却が含まれている。これらの技術のどれにも長所と短所があるが、それは、石油の物理・化学的属性、大気への影響の持続度、石油流出区域での自然環境の条件、および、特に、保護すべき天然資源および貴重なエコシステムの存在によって決まる。

#### 石油除去のための機械的方法

機械的方法による石油の海面からの除去は、石油が、まだ、厚い皮膜の形を取って流出源の付近に留まっている場合には、効果的であり得る (Daling and Indreb, 1996)。通常、原油は、海面に沿って急速に拡散して、石油の皮膜の厚さは急速に減少する。このことは、水温および気温が低い場合にも起こる。水温および気温が低いのは、サハリン島およびタートル（間宮）海峡の沿岸および大陸棚の海域にとって特徴的である。汚染水は、数日後には、非常に薄くなり、石油は、機械的方法によって海面から除去するのが非効率的になる程度までにエマルジョン化する。非常に稀れなことではあるが、機械的手段によって海面から除去された石油の量が、沿岸または海洋の海水中に流出した原油の10～15%を越えることがある (U. S. Office of Technology Assessment, 1990)。エクソン・ヴァルデズ (Exxon Valdez) からの石油流出後約1ヶ月以内に、7～10%の石油が海中から収集されて、約50%が沿岸に到達した (Wolfe 他, 1994年)。

石油を海面から除去するための方法が2つある。すなわち、吸着剤の使用と、石油収集装置（スキマー）の使用である。吸着剤は、通常は、薄片、板あるいは顆粒の形で生産される資材で、石油に対する親和性および吸着能力が高いことが特徴である。吸着剤は、石油を吸着させるために油膜（スリック）の中に入れておき、その後、手動式または機械化された設備を使用して、集められる。静かで閉ざされた水域、例えば、湾内での小規模な石油流出を処理するためには、吸着剤の使用が認められている (Tetra Tech, 1985)。しかしながら、吸着剤は、基本的には、石油を沿岸から除去したり、満潮時に岸に漂着した石油を収集したりするために使用される。とりわけ、石油で汚染された岸をクリーニングする場合である。サハリン地域では、潟の水面から石油を除去したり、岸に漂着した石油を収集したり、沿岸をクリーニングしたりする場合には、吸着剤の使用が効率的であろう。

スキマーは、水面から石油を集めて、貯蔵用の池またはタンクに入れるための機械装置で (Lewis 他、1995 年)、石油の物理・化学的属性を変えないで、水面から石油を除去出来る。しかしながら、スキマーを使用した石油除去の効率を高めるために、凝固剤を使用したり、汚染水を狭い場所に隔離したりする方法を使用したりすることもあり得る (Walker 他、1993 年)。通常は、オイル・フェンスを使用して、流出を極地化する。すなわち、オイル・フェンスで、石油汚染水を狭い場所に集めて、スキマーによる石油除去の効率を高める。スキマーの構造はさまざまであるが、その効率は、スキマーの生産性、石油の物理・化学的属性、波浪、氷の状況、スキマーのポンプの生産性、スキマーのタンクの石油貯蔵容量によって決まる (U. S. Office of Technology Assessment, 1990; Lewis 他、1995 年)。海面に沿った石油の急速な拡散および石油の皮膜の厚さの急速な減少は、しばしば、石油のエマルジョン化を伴い (石油の粘性が高まり、石油の中に水滴が溶け込む)、機械設備を使用して大量の石油を海面から除去するのを困難にする。大規模な石油流出の場合 (例えば、エクソン・ヴァルデズ (Exxon Valdez) からの流出) は、石油の拡散の結果、数日間で石油汚染域の面積が 1000 km<sup>2</sup> を越えることがあり得る (Wolfe 他、1994 年)。拡散した石油汚染水の厚さは、この間に、石油の粘性の程度および現場の気象条件にもよるが、0.1mm 以下に減少することがあり得る (Comack, 1981)。幅 1 メートルのスキマーの生産性は、スキマーの移動速度が秒速 1 メートル、石油汚染水の厚さが 0.1mm の場合には、1 時間当たり 360 リットルである。このことは、大規模な流出の後では石油の除去の効率が悪くなることを意味する。スキマーの生産性は、スキマーの移動速度を上げたり、作業幅を広くしたりすれば、向上することになるが、その何れの場合も、スキマーが大型化し、コストが高くなる。代替戦略として、曳航式または固定式のオイル・フェンスを使用して、石油汚染水の漂流を遮断して、汚染域を狭め、石油の皮膜を厚くしてから、石油を除去する方法があり得る。大半のスキマーは、外洋または氷がある海で暴風の場合には、非効率になる。通常、収集した石油をスキマーが貯蔵する能力には限度がある。従って、効率が低い (水と石油の混合率が高い) 場合には、気象条件が悪ければ、大半のスキマーの生産性が制約されるが、サハリン島では気象条件が悪いことは頻繁にある。

### 現場での石油の焼却

一定の条件の下では、現場での石油の焼却が、海面、氷が存在する海面、沿岸から、石油を除去するための効率的で、有効な方法である (Tennyson, 1991; Buist 他 1994 年)。現場での石油の焼却の効率は、次のような一連の要因によって決まる。すなわち、石油汚染水の厚さ、石油の大気の影響に対する耐久性、石油のエマルジョン化の程度、波浪、風速、水温および気温である。石油のエマルジョン化の程度が通常の場合は、現場での焼却による石油の除去の効率は、50%~90%以上になることがあり得る。大気に曝されていて、エマルジョン化していない石油の焼却は、新鮮な原油と比べて効率が高い。石油と石油製品の大半は、石油汚染水の厚さが、少なくとも、数 mm で、面積と発火温度が、連続的な燃焼が維持されるほどに、石油の蒸発にとって十分であれば、水面で燃焼する (Allen and Ferek, 1993)。燃焼のプロセスを維持するために十分な炎の温度を確保するためには、石油汚染水

の厚さは、少なくとも2～3mm でなければならない。厚さが薄い石油汚染水の燃焼は、自然に消えることがあり得る。

現場での石油の焼却に関連した主要な問題は、海面での石油の燃焼効率がよくない時に発生する煙である。海面での石油の燃焼の結果生じた煙の中には、高濃度の芳香族系炭化水素環式化合物およびその他の炭化水素化合物、ニッケルおよびバナジウムが含まれている (Benner 他、1990年 ; Madany and Raveendran, 1992)。煙の中の固体粒子 (カーボンブラック) の含有量は、海面で焼却される石油の皮膜の厚さが増大するにつれて増大し、焼却される燃料 1g 当り約 80mg までの煙が発生する。最悪の場合、煙の中のカーボンブラックの濃度は、現場での石油の燃焼を行っている海域の風下 4.5～5.0km の距離の所では、固体粒子に関する最大許容量を越えることがあり得る (Buist 他、1994年)。こうして、海面での石油の燃焼を行っている海域に直接近接している所にいる鳥獣および人間が、短期間、カーボンブラックの有害な影響を蒙ることがあり得る。しかしながら、石油の現場での焼却の結果としての大気の状態の悪化は短期的なものである。サハリン島地域では、石油の現場での焼却の結果として発生する煙は、生物資源および人間に対する影響の継続時間が最小限ないしは僅かな場合には、基本的には、無人または人間が僅かしか住んでいない地域に移動するであろう。

現場での焼却による石油の除去の効率を最も明らかに示している例は、ペルシャ湾での戦闘行為の結果としての約 700 の油田の火災である (Small, 1991)。その時、約 10 億バレルが燃焼したが、環境への影響は比較的短期間であった。もう一つの例は、規模は著しく小さいけれども、1991年4月のジェノヴァ湾 (イタリア) での石油流出である。この時は、タンカーの火災で、積んでいた重油のうち、約 10 万 3500 トン (71%) が燃焼し、3 万 3000 トン (23%) だけが海中に流出した (Martinelli 他、1995年)。沿岸の居住地域の損害は小さかった。燃焼しなかった石油は、沿岸の海草の分布圏および大陸棚の漁業資源に有害な影響を及ぼした。もし石油の大半がタンカーの船上で燃焼していなくて、沿岸の海中に流出していたならば、環境は著しく大きな損害を蒙ることになったであろう。

### 分散剤

これまでの 30 年間に分散剤の使用技術で著しい進歩があった (National Research Council, 1989)。流出石油の除去のために使用することが出来る最新の分散剤は、実験室段階では海洋生物に対する有毒な作用が弱くて、新鮮な原油には分散効率が低いという特徴があり、実際の原油流出の際して何回か使用されて成功している。分散剤は、水に溶ける界面活性剤 (洗剤)、水溶性の媒体または炭化水素系の媒体から成る (National Research Council, 1989; Hayes 他、1992年 ; Daling and Indreb, 1996)。液状の分散剤が特に好まれているが、それは、海洋生物、動物、人間に対する有毒な作用が弱いからである。通常は、モノオレイン酸エステル・ソルバイト (monooleate sorbite) のような非イオン系界面活性剤が、使用されている。海面の石油汚染水に対して界面活性剤を吹き付けると、界

面活性剤の分子が石油と水の境界面に集まって、石油の表面張力を減少させ、波のエネルギーが小さい時には少量の石油のみを水中に溶解させる。分散剤は、自然の分散プロセスならびに石油の水中での溶解および生化学的な分解を促進する。分散剤が効率的に作用すれば、海面の石油汚染水に含まれる石油が減少する。

分散剤の使用によって、生態学的に敏感な沿岸および海面に生息する鳥獣等の動物に対して、全体としての流出石油が及ぼす生態学的に有害な影響を、大幅に減少させることが出来る。しかしながら、分散剤の使用は、環境に対する影響を、可能な限り、妥協的にせよ、解決することを考慮しなければならない課題がある。一方では、分散剤の使用は、水中に分散した石油の水中に生息する生物（恐らくは、貴重な魚類を含む）に対する短期的な影響の可能性があり、他方では、分散した石油が海岸線および海面に生息する動物に対して長期的な影響を及ぼす可能性を考慮する必要がある (U.S. Office of Technology Assessment, 1990; Baker, 1995)。

分散剤の使用が効率的であるかどうかという判断は、石油流出の直後に行わなければならない。凝固点（石油が凝固する温度）が海水の温度より低い新鮮な原油は分散させることが可能である。しかしながら、原油および石油製品の種類の違いによって、分散化の程度が異なるが、そのことは、原油および石油製品の化学的組成および分散剤使用の時点での大気の影響の程度によっても決まる (Daling and Indrebo, 1996)。石油は、大気に曝される程度に応じてその粘性が増大するし、石油は、「石油に水が包まれる」タイプの安定したエマルジョンを形成する傾向がある。粘性があり、エマルジョン化した石油は分散剤の作用を受け難い。分散剤の使用期間は、流出石油および現場の気象条件によって、1～2日ないし1週間以上にわたることがあり得る。

### 沿岸からの石油の除去

石油の機械的除去、分散剤の使用、あるいは石油の現場での焼却が十分に効果的でなくて、石油の一部が海岸に漂着した場合には、石油を収集して海岸から除去するために、一連の方法を利用することが出来る。それらの方法の大半は、利用すると、追加的な損害（石油自体による損害に加えて）がもたらされる (Southward and Southward, 1978; Broman 他、1983年； Houghton 他、1996年)。石油を海岸から除去する方法には、石油の機械的な収集および除去、冷水および熱水による洗浄、海岸のクリーニングのための洗浄剤の使用、土壌および築堤 (berm) の表層土の除去を行って、石油を生化学的に分解させる方法が含まれる。石油を沿岸から除去する方法は、可能な限り、石油の効果的な収集および分解が、沿岸を恒常的または一時的な生息地として利用している生物資源に対する損害が最小限になるように選択されなければならない (Foster 他、1990年)。非常にしばしば次のような妥協的な方法が採用される。例えば、石油を現場に放置して、沿岸に生息する鳥獣に対して悪影響を及ぼす可能性を残したり、波打ち際の生物相の一部を破壊する有害な薬剤を使用することによって石油を除去したりするといった方法である (Neff 他、1995年)。

石油を沿岸から除去することは、最も複雑で、手間がかかり、コストがかかる段階である。石油を沿岸から除去するための一連の方法があるが、そのどれも、十分に効果的なものではなくて、海岸のエコシステムに対して、石油自体がもたらす損害に加えて、追加的な損害を及ぼす(Lees 他、1996年)。石油の物理・化学的属性、石油が付着した沿岸のタイプ、海岸線に対する波のエネルギーの影響によって異なるが、石油を沿岸から除去するためにさまざまな戦略を利用することが出来る(NOAA, 1992, 1993; Owens, 1994)。沿岸が高度に波のエネルギーの影響を受ける地域で、そこに生息している生物が生息環境の部分的な破壊に順応している場合には、恐らく、石油を沿岸に放置して、自然のプロセスの作用の下で、大気に曝すのが最善であろう(Baker 他、1990年)。

石油を現場に残して自然のプロセスの作用の下で、大気に曝す可能性がない場合には、石油が付着した、構成がさまざまな動植物の群落が生息している海岸、あるいは、特に環境破壊に敏感な生息地を擁する沿岸(例えば、塩分を多量に含むソロンチャーク(塩分性)土壌、干潟、海草の群生地)に対しては、エコシステムのある程度の破壊と結び付いた方法を利用することが必要である。次のような場合には、より激しくて、効果的な方法を利用することが出来る。すなわち、沿岸が生物学的に生産的でない場合か、海岸の生物相を犠牲にしても最短の期間で石油を除去するという解決法が採用される場合である。そのような解決法が根拠を持つとみなされるのは、海岸地帯に石油を放置することが、例えば、海鳥や、アザラシなどの海獣よりも貴重な生物に脅威を与える場合である(Baker, 1995)。

石油を沿岸から除去するための方法には3つのタイプがある。すなわち、石油の洗浄、石油の物理的除去および生物学的または化学的な洗浄剤(合成洗剤)の使用である(Kerambrun, 1995)。石油が、大気に曝されていないか、または、適度に曝されていて、石油の皮膜が薄いか、中程度の場合には、沿岸に水をかけたり、水で洗浄したりするだけで、石油を沿岸から除去するためには、十分なこともある。その場合、低圧の水が使用されるが、水温は気温と同じでなければならない。大気に曝された石油を除去するためには、もっと積極的な手段が取られる。例えば、中圧または高圧の熱水による洗浄である。水で洗浄すれば石油が軟らかくなり、基盤(訳注:砂や泥の下の岩盤等)から分離するのが容易になる。それと同時に、熱水は、石油で覆われた沿岸に生息している生物を死滅させることがあり得る。蒸気または砂を噴射することによって沿岸の石油を洗浄するのは、極端な方法である。この方法は、石油のタール分の残滓を岩石から除去するための効果的な方法ではあるが、沿岸の生物を全て死滅させることになる。

石油を岸の地上の穴や容器に集めてタンクローリーに注入することが出来る場合には、非常にしばしば、手動での石油の除去が主要な方法になることがある。また、タール分の塊や残滓およびアスファルト分(bitumen)は、手動で除去すると沿岸の生物相の損失が最小限になる。石油が砂浜に漂着して、基盤まで深く浸透しない場合には、石油による岸の汚染の規模にもよるが、ショベルまたは重機を使用して石油を除去するのが最善である。しかしながら、石油に覆われたソロンチャーク土壌の海底沈殿物を除去すると、通常、ソ

## 第6巻 第9章

## 石油流出の影響および発生後の対策

ロンチャーク土壌が重大な損失を蒙ったり、ソロンチャーク土壌が根絶したりする (Gilfillan 他、1995 年)。重機を、石油で覆われたソロンチャーク土壌および波打ち際に走行させたり、移動させたりすると、石油が水底深く沈殿して、固まり、エコシステムの復活の自然のプロセスを遅らせることになる。海岸のそのような場所では、どのような石油除去作業も行わない方がよい。

水による石油の洗浄効率を高めるためには、沿岸のクリーニングのための洗浄剤を使用することが出来る (Walker 他、1993 年)。若干の場合には、沿岸のクリーニングのために洗浄剤を使用すると、高圧の熱水や蒸気によって岸の石油をクリーニングするといった激しい方法によらなくても、重質油を除去することが可能になる。この方法を使用すれば、高圧の熱水や蒸気によるクリーニングと比べて環境の破壊は最小限ですむ (Lees 他、1996 年)。沿岸をクリーニングするための最新の洗浄剤、例えば、Corexit 9580 は、親水性の界面活性剤および溶剤から成る (Fiocco 他、1991 年)。このような洗浄剤が作用すると、大気に曝された石油は、水で洗浄された時に基盤から分離するが、沿岸の水中に分散することはない。石油は、その後、海岸のそばに設置されたオイル・フェンスおよびスキマーを使用して、除去される。沿岸をクリーニングするための洗浄剤は大気に曝された石油を岩石およびソロンチャーク土壌に生える草で覆われた岸から除去する際に効果的であり得る (Fiocco 他、1991 年 ; DeLaune 他、1993 年)。

生物学的クリーニング用の洗浄剤の使用は、沿岸の石油をクリーニングする「自然の方法」として推奨される。この場合、窒素およびリン酸を大量に含む肥料に石油酸化細菌を添加したものまたは添加していないものを、石油に吹き付けたり、塗布したりする (Prince, 1993; Atlas, 1995)。海水および海底沈殿物は、天然の石油酸化細菌を含んでいる。石油が海水または基盤に到達すると、これらの細菌の株数は急速に増大する。従って、通常は、生物学的な再生の強度が、雑種または純粋種の石油酸化細菌を添加することによって高まることはない。通常、添加される細菌は、天然の細菌の株との競争に耐えられず、急速に死滅する (Atlas, 1995)。

沿岸での細菌による石油系炭化水素の酸化の程度は、基本的には、植物にとっての第一次栄養素である窒素とリン酸によって制約されている。肥料は、天然の石油酸化細菌および菌の株数の増大を促進して、栄養素としての (窒素およびリン酸の含有量の低い) 石油系炭化水素をより活発に消費させる (Atlas, 1995)。細菌による石油系炭化水素の消費の結果生成される生産物は二酸化炭素および水、または、さまざまな中間化合物である。これらは、通常、最初の炭化水素よりも毒性が低い (Claxton 他、1991 年)。高等生物による若干の PAU (芳香族系炭化水素多環式化合物) の新陳代謝の結果、突然変異を引き起こす可能性が高い発癌性の代謝物が生成されると、この同じ化合物に対する細菌の酵素の作用によって、立体異性体の代謝物質が生成されるが、これは、突然変異を引き起こしたり、発癌性を有したりすることはない (Sutherland 他、1995 年)。

生物学的クリーニングのための洗浄剤は、砂浜および磯の海岸から石油を除去するために使用すると効果を上げることが出来る (Prince, 1993; Bragg 他、1994 年)。石油を石油で覆われたソロンチャーク土壌から除去するために無機質肥料を使用すると、植物の成長が促進される。これらの洗浄剤および無機質肥料が、ソロンチャーク土壌の基盤から石油を除去する能力を大幅に向上させる上で、どの程度の影響を有しているかは、確認されていない (Mendelsohn 他、1995 年)。ヴァルデズ (Valdez) からの石油流出によって石油に覆われた沿岸に対してオレオフィル肥料を徐々に投入したところ、石油の酸化度を 3~5 倍に増大させることが出来た (Atlas, 1995)。生物学的クリーニングのための洗浄剤の効率は、場所によって異なっていたし、投入される窒素の量や石油が大気に曝されている程度によっても異なった。

最適の条件の場合でさえ、沿岸の生物学的なクリーニングの時の微生物による炭化水素の酸化の程度では、大量の石油を急速に除去することは出来ない。従って、生物学的クリーニングが最大に効果を発揮するのは、石油の大半が機械的なクリーニング方法および水による洗浄によって除去された後の最終段階で、残っている少量の石油を除去する場合である。しかしながら、生物学的なクリーニングは、海岸線の多孔性の基盤に浸透した石油を除去するための最も効果的な方法であり得る。基盤に深く浸透した石油を効果的に除去するために、窒素およびリン酸の他に、酸素も使用される。

### 9.3.1.2 氷結海域での事故による流出石油の一掃

亜北極地方の諸条件は、石油流出事故に関わる各種作業を物質的・技術的に可能にする観点から見ると、これらの作業の実施を困難にしている (従業員と設備を流出現場へ安全に運べる可能性、作業が継続する期間の野天作業の可能性、視界等々)。しかしこれらの条件のせいで、油汚れの拡大が限定され、厚い油層の形で油汚れが局地化され、氷の上、氷の内部あるいは氷の下に (雪の上、雪の内部あるいは雪の下に) 油汚れが局地化され、生態学的に敏感な地帯や沿岸に石油が押し寄せる確率が減少され、さらに地上の各地区へ石油が拡散することが限定されうる。割れて動く氷、各地の湾内での氷層の形成と解氷、不安定な氷の諸条件は、石油流出現場へ従業員と機械設備を輸送し、流出石油を安全で効果的に除去する重大な妨げになりかねない。これらの条件下で流出石油を一掃するためには、幾つかの戦術的な方法の結合が必要になる。各方式には一定の各種制限があつて、それらは以下でも参考文献でも述べてある通りである。積極的な流出石油一掃の安全な実施が不可能な場合は、ARN (石油流出事故) に関する後続措置を軽減するため、油汚れの移動監視を行う必要がある。

寒冷気象の諸地域における様々な氷結条件下と沿岸で石油を除去するため利用できる、よく推奨された方法は、研究所の各種試験と現場調査に基づいて開発された。それらは、最近発表された各種規則と現場作業用のマニュアルで述べられている。それは例えば、北氷洋水域における流出石油一掃のマニュアル (Owens その他、1998 年)、アラスカでの汚

染のない海の技術マニュアル (Alaska Clean Seas, 1999 年) であり、また 北氷洋海岸の石油汚染の予防と一掃に関するマニュアル (Owens, 1996 年) である。流出石油一掃の各種戦略を受入れできる可能性は、戦略選択の時点での氷の状態に大いに懸かっている。石油の流出場所と時候によっては、石油は増大する氷塊のなかに閉じ込められるかもしれず、氷の上、氷の下あるいは割れて動く氷の間に局地化されるかもしれず、あるいは別の氷の形成で、または各種の地理的物体(obiect)で局地化されるまで、定着氷のなかに、あるいは沿岸氷の下に広がるかもしれない。

一般的規則によれば、石油流出事故での通常の諸方式—機械化した局地化と石油の除去、現場での石油の焼却、分散剤の使用—は、氷層が最小の場合、つまり 0.3 以下の場合に適用できる。氷がもっと高い凝結状態の場合の現場での石油の焼却は、氷による石油の自然な局地化という条件があれば効果的な方式でありうる。機械化した方式による石油の除去は、氷結の各種条件下で使う作業用設備で行うことができるが、しかしこの方式の適用は、補充作業の実施と関連がある。分散剤を使用できるのは、うねりの影響で水と石油の十分な混合が可能になる場合 (氷が厚い諸条件下では混合は抑制されるが)、あるいは人工的な影響で石油が厚い氷の層のなかで分散する場合である。石油で沿岸氷が汚染している場合は、氷の厚みが 50 cm を超えているという条件があれば、石油流出事故の伝統的な冬季のやり方 (水路の開設、氷の切欠き、氷層の除去など) が適用できる。

1 昼夜での明るい時間が短いこと、極めて低い温度とありうるダイナミックなプロセスを考慮すると、本プロジェクト地区での流出石油の一掃に関わるいかなる作業も危険であると考えられる。事故による流出石油を一掃する組織の従事者の健康と安全は、優先的な意義をもっており、従って作業の実施にあたっては特別予防措置の遵守が必要である。危険な諸条件がある場合は、流出現場へ従事者と設備を派遣することが禁止されている。0.3 以上氷の凝結力がある場合は、砕氷型の船舶を使用する必要がある。

以下に示したのは、氷層が張った水域で流出石油を一掃する各種の最新方式の説明である。事故による流出石油一掃の方式—機械化した方式による石油の除去、現場での石油の焼却と分散剤の使用—と並んで、石油流出を局地化する各種方式の説明が行われている。また沿岸からの石油除去と、流出石油を一掃する新テクノロジーの開発措置のような、事故による流出石油の一掃と関連した諸問題の簡単な説明が行われている。

### 局地化

油汚れの局地化は全般的に、各種の機械化した方式による後続する石油除去、あるいは現場での石油焼却のために必要である。北極圏の諸条件下で油汚れを局地化する幾つかの方法がある。氷の凝結力が 0.3 以上の場合、水路を通る石油の広がり妨げるために、オイルフェンスが氷塊間の水路に設置されてよいが、しかしオイルフェンスは氷とともに移動できる可能性を持たなければならないが、それらは氷塊で壊れるかもしれない。結氷

のない水面上で事故による流出石油を一掃する場合と同様に、機械化した方法による流出石油の一掃は、海のうちねりが比較的に低い場合にだけ効果的でありうる（波の高さは 2m 以下、風速は 10 m/sec 以下、海流速度は 40~50 cm/sec 以下）。通常は氷層がうねりの作用を抑えるにも拘らず、氷原の域外で強い嵐があるとき氷原の真ん中で氷が起伏するケースが指摘されている。

複数の適当な氷塊がある場合、氷層はそれ自体で石油流出を局地化することができる。複数の支援船は氷塊を必要な位置に置く必要があるだけである。防氷用の浮動防柵は氷を遅滞させるために使用され、浅い海域での氷の形成を促す。この方法の可能性と実際の適用は、氷原の形態と規模によって、さらに風速と複数の海流によっても決まる。本プロジェクトの様々な施設でこの方式を適用する問題は、ケースごとに個別に検討しなければならない。

沿岸の定着氷のある諸地区では（海岸近くあるいは内湾では）、氷の下の石油流出を局地化し、広がりや管理してその後石油を除去するために、水路、氷の穴、溝の切欠きのような方法が利用される。氷の下の石油のいかなる移動も排除して、溝を使って流出石油の局地化を改善するためには、溝のなかに通り抜けの防柵をはめることができる。

石油の流出を局地化するために、デカストリー地区でタンカーに荷積みするとき特殊なバブル・フェンスを設置することが可能である。バブル・フェンスは北極圏の諸条件下で試験にパスしたので、タンカーへの荷積み地区で伝統的なオイルフェンスとともに使用できる（Rytkonen, 1999 年）。

### 石油を除去する機械化した方式

大多数のスキマーの効果的な使用は、氷の凝結力が 0.3 以下の場合に可能である。氷の凝結力がもっと高い場合、氷のなかに閉じ込められた石油を除去するためには、特殊な長い毛のブラシとモップの効果的な使用が可能である（Solsberg と McGrath, 1992 年）。通常は、除去する油汚染水(piatno nephti)の上にスキマーを吊るして、船からそれらを使用する。ブラシ付のスキマーあるいはドラム型スキマーの構造が正しく選ばれたら、有利な諸条件下ではそうしたスキマーは流出石油を除去するために効果的に使用することができる（Johannessen その他、1996 年; Solsberg と McGrath, 1992 年）。

温度が 0°C 以上の場合ディスク型スキマーは、スキマーを張るための水路があれば厚い流出石油の膜を除去するために使用できる。このことは、ペースト状の氷あるいは出来て間もない氷の存在で流出石油がスキマーへ入ることが妨げられないで、ポンプのパイプをブロックしないという条件があれば、排水装置付スキマーにも関わりがある。

Lamor 社の石の多い土壌と氷の浄化用設備、Lori 社の氷浄化設備と流出石油除去用のバ

ケット (Liukkonen と Jorma, 1997 年、Rytkönen, 1992 年)、またフィンランド生態学研究所の沿岸浄化剤 (Rytkönen, 1999 年) は、結氷の諸条件下での試験にパスした。これらの石油除去技術を導入するためには、野外の諸条件下での追加的な各種試験を実施する必要がある。

現在は結氷の諸条件下での作業用スキマーの大量生産は行われていない。しかし、砕氷船と同行するバージ (母船) の上に、流出石油の除去設備とその石油を保管する容器を設置して、結氷の諸条件下での流出石油一掃用の船舶 (複数) を建造することができる (Tomga, 2000 年; Keinonen, 2000 年)。最新の動力装置—アジポード—は、氷の下で水流を作るとか、あるいは必要な方向へ氷と流出石油を移動させるためにも使用できる (Rytkönen, 1999 年)。

### 冬期の事故による流出石油の一掃

氷と低温は、船舶の機動性を制限し、収納設備をふさぎ、氷のかけらがオイルフェンスに突き刺さり、さらに流出石油、燃料、油の除去用液の凍結や、設備などの壊れ易い破壊を引き起こしながら、流出石油を除去する各種の機械化した方式の効率に影響を及ぼす。

流出石油は、風と海流の影響下で氷原の端での漂流中に回収される。流出石油を除去するためそうした場所へ出入りできる可能性がある場合は、スキマーが使用される。低温下で流出石油を除去するためには、小型の親油性スキマー、つまりドラム型、ディスク型、ベルト型とブラシ型のスキマーが効果的に使用される。しかし風と海流の向きが変わると、流出石油による汚れの移動方向も変わって、スキマーからそれで行ってしまいかねない。従って各種の条件が許せば、現場で流出石油を焼却する可能性を検討する必要がある (この方式による方が、スキマーを使うより速やかに流出石油が除去される)。

冬期の初めには、LARN (事故による流出石油) を一掃する積極的な行動の否定的な諸結果がありうる。例えば、冬期の初めにはオイルフェンスを使った流出石油と氷の局地化は、流出石油の効果的な除去を殆どもたらさない。そのうえこのことは、増大する氷層のなかへ流出石油が閉じ込められるため、事故による流出石油一掃の後続する諸措置を困難にしかねない。何よりもまずこのことは、海岸沿いの諸地区と各地港湾に関わりがある。如何なる措置も講じないと、出来つつある氷にぶつかる流出石油の薄い層が氷の新しい層あるいは積雪を覆うことになる。そうした状態では、作業場として使用するため氷が十分硬くなると、事故による流出石油一掃を目指す後続する諸措置のため流出石油は利用できる。この段階では、流出石油のある氷を切欠きし、現場で石油を焼却するか、あるいは石油までの氷層を除去して石油を除去あるいは焼却するような、そうした流出石油の除去方式が利用できる (Dickins その他、2000 年)。

氷の凝結度が 0.5 か 0.6 を超えたあとでは、油汚染水の移動は通常は氷の如何に懸かっ

ている。デカストリー港で、あるいはタンカーによる輸送ルートで石油が流出した場合、流出石油は船舶の通過で出来た水路で回収される。

割れて移動する氷の上に石油が流出した場合は、石油は氷塊間に集まって流氷とともに移動することになる。そうした現地への従事者と設備の安全な送り届けが保障されるならば、ブラシ型あるいはディスク型のスキマーを回転させながら、モップによる石油の除去が容認される。この場合、寒冷気象の地域と関連した各種の困難—0℃以下の気温と水温、各種鋼鉄部品の脆弱な破断など—は、各種の機械化した方式による流出石油除去の効率に否定的な影響を及ぼす。従って上述したように、可能性に応じて現場での流出石油の焼却、つまり集積場での石油の焼却を適用すべきである。

氷塊間あるいは氷の下にある油汚れは、現場で凍って氷のなかへ閉じ込められかねない。氷のなかに閉じ込められた流出石油の除去は、まったく再検討の余地があり、時には不可能だと思われる。可能性に応じて流出現場へ（沿岸地区あるいは潟で）重機械設備が氷上輸送とかあるいは砕氷型の船で送り届けられ、石油流出が少量の場合は重油で汚染された氷は切り取って、石油を溶かして除去するために海岸へ搬出される。氷の穴の水面上にある油汚れの残りは、ポンプやスキマーで、あるいは吸収剤を使って除去することができる。逆に大量の場合は流出石油を除去する作業は、氷から石油を分離したあとで再開すべきである。

沿岸氷のある地区で大量の石油流出が発生した場合は、石油の一部は氷の下に入り込む。海流がない場合は通常そうした石油は現場に留まる。氷の下の表面の自然な起伏は大きなコレクターになって、それは小さい面積の枠内で氷の下に石油を効果的にせきとめる。そうした石油を除去するためには、通し水路あるいは氷の穴に設置したスキマー、氷の下に入れたブラシ型スキマー、あるいは氷のなかへ掘った穴を通じて石油を汲上げるポンプを使用することができる。氷の下に海流がある場合は、油汚れを局地化するため水路を切り欠きするか、それともフェンスを張る必要があるが、しかし氷の下に強い海流がある場合は、フェンスの下で流出石油の漏れがありうる。

### 春期の事故による流出石油の一掃

氷原が破断した場合には、氷の下からあるいは氷から離れる流出石油は、冬期の事故による流出石油一掃について述べた各種方法で、あるいは氷の凝結力が0.3以下という条件が満たされるなら、氷結していない水面から流出石油を除去するための通常の方式で、実施できる可能性がある場合に除去することができる。浮標を使って石油流出現場に出入りできる可能性が得られる以前の春期には、流出石油を除去する機械化した方式を選択するとき、氷上融水（あるいは湾内に川が流れ込んでいるならば雪解け水）が氷の上に現れることを考慮に入れて、まず一番に氷の不安定性に注意する必要がある。

### 現場での流出石油の焼却

現場での流出石油の焼却は、流出石油が氷原あるいは氷塊に閉じ込められていて、そのことが油汚れの厚みの増大をもたらすときは、氷結した水域での石油除去の効果的な方法であると考えられる。通常この方式は、氷のなかに閉じ込められた石油を焼却するとき効果的である。現場での流出石油の焼却は、氷結した海域で実際に石油が流出したときに石油を除去するため、首尾よく適用されてきた（Chen, 1998 年; Buist その他, 1994 年; Johannessen その他, 1996 年）。

現場での流出石油の焼却方式を適用することが各種の条件によって出来るならば、氷塊間と氷塊群の端沿いにある流出石油を焼却する効率は、スキマーで流出石油を除去する効率より高いと認めることができる。現場での流出石油の焼却方式は、氷の表面上に流出した石油、あるいは氷の中から乃至は氷の下から融氷水面沿いの氷の表面上に出た石油を焼却するために、同じく効果的に適用できる。一定の諸条件下では砕氷型の船舶は、氷の中や氷の下に閉じ込められた流出石油が焼却可能になるようなやり方で、油汚れの周りの氷を叩き割るため使用することができる。石油流出現場で氷の上に人々がいることが安全でないと考えられるならば、融けて割れた氷の間にある流出石油は、ヘリコプタから火をつけることができる。

### 分散剤

分散剤の使用は、30年以上の間広く研究されていて（エクソン・モービル研究・エンジニアリング社、1994年）、分散剤は大量の実際の流出石油を除去するため首尾よく使用されてきた（Lessard, 1998年）。しかし低温と結氷の存在を考慮に入れると、こうした状況下での分散剤の使用は特別の注意に値する。

分散剤の Corexit 9527 と 9500 の有効性は、割れた氷の諸条件下にある軽原油で首尾よくテストされた（Brown と Goodman, 1996年）。温度 5℃以下の水中での分散剤の効率は 80%であることが立証されているが、しかし氷が様々な状態にあることは、分散剤の仕様に影響を及ぼしている。割れた氷あるいは軟氷の諸条件下での波の作用は、厚い氷の層のなかでの大量の流出石油の分散を保障するとともに、分散剤の効率を高めることができる。それと同時に数々の氷の大きな破片は、波の作用を抑制しながら分散過程を妨げかねない。

分散剤はヘリコプタ、飛行機あるいは外洋船から投入することができる。従ってこれらの分散剤は、流出石油の機械化した除去方式の利用ができなくなるような状況下では、使用することができる。

### 沿岸からの流出石油の除去

大多数の場合、沿岸地帯あるいはその隣接海域での氷の存在は、水面上の流出石油が下

層と接触するのを春まで妨げる。沿岸にあって雪と混ざった流出石油は、アクセスできる場合は手動あるいは機械化した方式で比較的容易に除去できる。流出石油は、水がそのとき凍結しないで洗い落とす石油の中に閉じ込めないという条件が満たされる場合には、水で洗い落として集めることができる。ピットに集めた流出石油は、吸収剤を使って除去し、汲み出すか、または焼却することができる。氷表面の流出石油を清掃するためには吸収剤と、最新の沿岸清掃設備—Lori社の石油回収用バケツ、Lamor社の石の多い土壌の清掃設備を使用することができる。これらの製剤のほか、割れ目、隙間や水路から流出石油を除去するためにはブラシを使用することができる。

冬の初めには満潮地帯での海岸線は、氷の末端線を形成しながら凍結する。流出石油は海岸に近づいて、混ざり物のない形で、あるいは氷や雪と混ざって凍結して、春まで凍結状態のままになる。凍結以前に流出石油を除去することがうまく行かなかったが、それが人々の健康と安全にとって脅威を及ぼさない場合には、硬い沿岸氷ができたあとで、または春にその流出石油を除去するため、油污れ個所に識別マークをつけておく必要がある。流出石油で汚れた沿岸の清掃方式の選択は、海岸線のタイプ、石油流出の量とタイプ、さらに雪と氷の状態で決まる。清掃方式の選択にあたっては、純生態学的効果を考慮することも必要である。流出石油で汚れた海岸の氷の面積が比較的に小さいと考えられる場合は、そうした氷は手動で集めることができる。水がもはや凍結していない春には、流出石油は氷の表面から水中に洗い落として燃やすことができる。

### 新しいテクノロジー

氷結した海域で流出石油を一掃する、より効果的な手段の開発を目指す作業は、SINTEF Civil and Environmental Engineering[SINTEF 土木・環境工学技術社]（ノルウェー）、VTT manufacturing Technology[VTTの製造技術部門]（フィンランド）[VTT：フィンランド技術研究センター]、国立サンクトペテルブルグ工大、ムルマンスク海洋生物学大学、さらに Alaska Clean Seas[センター]を含めて、事故による流出石油一掃を目指す共同組織、設備のメーカー、研究組織によって従来通り行われている。

前世紀の60年代からエクソン・モービル社は、寒冷気象のある諸地域用の事故による流出石油一掃技術の開発を含めて、同技術の研究と開発の分野における先進組織の一つである。例えば同社は、前世紀80年代から寒冷気象のある諸地域での各種分散剤の試験を実施している。同社は、Alaska Clean Seasセンターのスポンサーの一つである。

同社は、「氷結した海域からの機械化した方式による流出石油の除去」のプロジェクト(MORICE)の実現上で大きな役割を演じた。ノルウェー SINTEF社は「北氷洋水域での事故による流出石油の一掃マニュアル」の作成に参加した。そのほか、エクソン・モービル社は1997年と1998年に極圏の向うにあるシヤルバルドでの「沿岸の実験的浄化」プロジェクトの実施に参加した（セルゲイ, 1999年 a, セルゲイ, 1999年 b）。同社は事故による流出石油一掃技術の開発に参加し続けており、現在北極圏の諸条件下での事故による流出

石油一掃の効率を向上させる各種新構想を検討している。

### 結 論

結論として、流出石油の局地化と除去の伝統的な各種方式は、凝結力が 0.3 以下の氷結海域で流出石油を一掃するとき、効果的であると指摘すべきであるが、しかし氷は作業の実施効率を低下させる。氷の凝結力が 0.3 以上のとき石油が流出した場合は、流出石油の局地化と除去のために最近開発された各種のオイルフェンスとスキマーの使用は、氷結状態での作業用ではないシステムと比べてより効果的である。氷結状態での大量の石油流出では、その適用が可能であると考えられるならば、現場での流出石油の焼却が石油除去の最適の方式である。結氷とうねりの影響の欠如とで、結氷状態における流出石油除去用の分散剤の使用は、限定された性格をもっている。それにも拘らず、場合によっては分散剤の使用も効果的でありうる。

#### 9.3.1.3 LARN（事故による流出石油の一掃）による措置

プロジェクト「サハリン-1」では、事故による石油流出の考えられる幾つもの予測があるが、様々なプロジェクト施設での諸条件は年間で、とくに冬期の間には著しく変わる。変化する諸条件を考慮して、事故による流出石油の一掃方式を何か1つ選んで、それがあらゆる状況にとって最適であると考えてはならない。事故による石油流出の場合、その流出石油一掃の最大の効率は、幾つかの方式を結合するとき達成される。事故による流出石油一掃のためのあれこれの方式の選択と実施は、海の状態、天気と結氷の状態、石油の物理的状态、石油流出の規模、動物の棲息地あるいは人間の活動現場への油汚れの近さによって規定され、また事故による流出石油の一掃方式を安全に実施できる可能性によっても規定される。影響に敏感な資源や、油汚れの広がりのある軌道のデータを利用しながら、純生態学的効果を考慮に入れることも必要である。

この章では、上述した事故による流出石油一掃の様々な方式と関連した一連の重要問題が検討される。以下では、事故による流出石油を一掃する方式のなかの任意の方式—機械化した除去、現場での焼却あるいは分散剤の使用—の、そしてプロジェクト「サハリン-1」の枠内での石油流出の予測の1つ1つで予想される、流出石油の移動または行態 (povedenie) を考慮して、広範な環境条件下で先行する実験的な石油流出と実際のその経験を結び付け、LARN（事故による流出石油一掃）についての各種方式のよりよい適用の可能性を予想する。

#### *LARN（事故による流出石油を一掃する各種方式）のよりよい適用の可能性*

結氷のない水面： 全般的に、海水が氷から解放されている夏の時期とその他のシーズンには、事故による流出石油を一掃する、あらゆる方式のよりよい適用が期待される。

結氷した水面： 冬期に 3/10 とそれ以下の凝結力をもった割れた氷があるときは、事故による流出石油を一掃する戦略のよりよい適用の平均的な見込みが期待される。

氷の凝結力が 3/10 以上のときによりよい適用の最大の見込みがあるのは、現場での流出石油の焼却方式である。分散剤は、よりよい適用の平均的な見込みがある。一般的に、流出石油を除去する機械化した方式は、流出現場へのアクセスと機動的な問題解決が限られていることを考慮すると、よりよい適用の確率が小さい。

機械化した諸方式と現場での流出石油の焼却は、冬期における沿岸氷の諸条件下ではよりよい適用の確率が高い。

以下に示した項では、事故による石油流出の様々な予測と流出石油を除去する具体的な対策に関連した、一連の重要問題を検討する。

#### 9.3.1.4 LARN（石油流出の様々な予測）による事故での石油流出一掃対策

##### *結氷のない水面上への継続的な流出（規制されない放出）*

- 結氷のない水面上からの流出石油の機械化した除去と流出石油の焼却のためには、石油流出の局地化と後続する効果的な除去あるいは焼却のため、オイルフェンスが必要とされる。従って、風と波の速度は時速 20~25 マイルを超えることがあってはならないし、風による波の高さは 1~1.5 m を超えることがあってはならない。
- 分散剤は、次の諸条件—海の十分な深さ（通常>10 m）、十分な調合エネルギー、処理した石油の影響に対して敏感な表面層での生物相（プランクトン）に対する小さい影響（もしあれば）—を満たせば効果的であると考えてよい。強風と海のうねりでオイルフェンス（流出石油の焼却用と機械化した除去用）を効果的に使用することができないときは、分散剤は事故による流出石油一掃の効果的方法であると認めてよい。
- 燃えていない流出源の隣で、あるいはその間近かで石油が偶然に引火する恐れがある場合は、現場での焼却に関する決定採択による利益対リスクの分析を比較対照する必要がある。

流出源がすでに燃えていて、そうした流出源地区で流出石油が燃え続けることが望ましいならば、防火オイルフェンスを使用する必要があり、それらは流出源地区と流出源からの海流の下流で燃やす効率を高めるはずである。
- 乳状化していない新鮮な石油が絶えずやって来る石油の流出は、早急に効果的に燃やせるか、あるいは流出時に分散剤で処理できる、流れる石油源である。

**(タンカーあるいはパイプラインからの) 結氷のない水中への大量流出**

- 大量の石油の予期せぬ（一気の）流出が発生する場合は、油汚染水が急速に広い海域を覆うので、引き続き焼却あるいは機械化した方式による回収のためのオイルフェンスを使った、石油流出の局地化の効率は低下する。後続する除去/焼却のために、そうした大量の流出石油に空から分散剤を撒く速度は、焼却あるいは機械化した方式による除去の速度と比べて10~100倍高い。
- 石油流出源あるいは流出地区への安全で機動的なアクセスの可能性がある場合は、相当量の流出石油を引き続き焼却および/あるいは物理的除去のため、オイルフェンスを使って回収することができる。こうして局地化した流出石油の焼却は、それらの引火と、流出源あるいはその他の施設の後続する引火とを防止するため、流出源からもあらゆる油汚染水からも離れた安全な所で実施しなければならない。
- この章で検討した石油流出のあらゆる予測によれば、水温が低く、氷の凝結力が限られている（つまり $<3/10$ の）ときには、事故の流出石油を一掃する組織が流出石油を局地化するために、流出現場へアクセスできる可能性は限られていることを考慮に入れる必要がある。軟氷があるときは、スキマーへの流出石油の移動および/あるいは流出石油（軟氷と混ざったもの）の最初の点火は困難になっている。そのほか、低い水温、うねり作用の抑制、油汚れの厚みと流出石油の粘度の増大は、分散剤使用の効率を低下させかねない。

**水資源保護地帯への（海運のターミナルでの）大量流出**

- 海運のターミナル地区あるいはその間近での（あるいはその他の各種石油施設の間近での）故意の統制不能な焼却は、上述した諸施設へ火が広がるのを防止するため禁止されている。
- 小さい沿岸水域に棲息する海洋動植物群に対する潜在的に危険な影響を防止するため、上述した各種施設がある地域での分散剤の使用も禁止されている。高い濃度の蒸気の発生と火災あるいは爆発の発生を防止するため、流出石油の分散用薬剤を使用することは許容されていない。
- 機械化した清掃は、事故による流出石油一掃の唯一つ考えられる方式であるが、しかしそのさい、安全措置を遵守して流出石油の偶然の引火を防止する必要がある。

**港湾での大浮氷群の氷あるいは割れた氷の上への石油流出**

- 氷の漂流速度如何によっては、採油プラットフォームや石油の噴出量と関連があるが、

規制されない石油流出の結果できた氷の表面上あるいは氷原間の水面上での薄い油膜の厚みは、焼却のため不十分であると認めうる（通常油膜の厚みは3~5 mm以上でなければならない）。

- 氷の凝結力が高い（6/10以上の）場合は、機械化した流出石油の除去方式（オイルフェンスとスキマー）と防火オイルフェンスの配備は、実際に絶え間ない流氷の影響を考慮すると非効果的になる。こうした状況下では、流出石油の回収/除去の潜在的に効果的な方式が2つ利用できる：（1）、水路と氷間水面に流出石油が自然に局地化される場合、流出石油の最小限の厚みが3~5 mmならば、現場での流出石油の焼却。（2）氷原間に隔離状態で集積した流出石油への、船体外に積載できるブラシ型の親油性スキマーの使用。この隔離状態で集積した流出石油を回収するため船外へ突き出たスキマーの使用では、生産性が低い結果少量の流出石油を回収できるのに対して、流出石油の焼却によれば大量の油を急速に除去できる。
- 凝結力が4/10~6/10の流氷は複雑な中間的氷結状態であって、そこでは氷の影響は事故による流出石油一掃の通常の方式を大多数の場合余り効果的でなくする。また氷の形成による流出石油の自然な局地化は恐らく、現場で流出石油を焼却するために必要な厚みの油膜ができるためには不十分だろう。
- 氷の凝結力が3/10とそれ以下の場合は、氷結のない水面から流出石油除去のため適用される、事故による流出石油一掃の通常の各種方式および/あるいは防火オイルフェンスを設置して行う、流出石油の管理可能な焼却は、結氷形成によるうねり作用の一定の抑制を考慮に入れると、氷原間あるいは氷原群間での大きな氷間水面で適用することができる。
- 氷の凝結力が<3/10の場合でも、低い水温と軟氷の存在はスキマーの使用、現場での流出石油の焼却、分散剤使用の効率を限定することになる（氷結のない水面と冬期の諸条件間の移行期に関して、上述した同様なコメントを参照のこと）。
- デカストリーの港とターミナル地区で氷が割れた状態で行う、LARN(事故による流出石油一掃)の措置は、結氷のない水面状態に対処するのと同じ各種制約条件によって規定されている。機械化した諸方式は、この限られた小さい水域での事故による流出石油一掃の唯一つ受け入れられるやり方であると認められる。

### 沿岸氷の表面への石油流出

- 雪に覆われた固い氷の上へかかった流出石油は、水上に流出した石油の同じ量と比べてはるかに小さい面積を占める。その結果、流出石油の均等な厚みは数10 mm<sup>1</sup>に達しうるが、そのことで機械化した石油除去方式も、現場での石油焼却も効果的で効き

目のある措置になる。

### 沿岸氷の下への石油流出

- 冬期に海底から沿岸氷の下へ上がってくる流出石油は、海流の影響下で流出地点から移動しかねない。春にはこの流出石油は、厚い氷層のなかの穴（融氷水面）から自然に浸透してきて、集積を形成する。こうした状況下での流出石油の焼却は、事故による流出石油一掃の効果的な方法であって、そのことは以前の経験で確認されている。
- 流氷の下へ上がってくる流出石油は、個々の氷原の下に、あるいは水路や大浮氷群の氷の融氷水面に溜まってくる。事故で流出した石油を一掃するあれこれの方式を適用する可能性は、氷の凝結力と表面での油膜の厚みによって規定される。大浮氷群の氷の表面へ石油が流出する諸条件とのこれらの条件の主な違いは、事故での流出石油を一掃するとき、氷の下にある石油へ到達できる可能性が限られていることにある。

#### 9.3.1.5 追跡、モニタリングと監視

事故による流出石油一掃の上述した積極的な各種方式の適用が不可能なときは、重油で汚染された氷の追跡が優先的な課題になる。氷の監視は石油流出源の地区で組織できる。石油流出地帯の主な地点でダイナミックな結氷過程を監視するためには、無線方式および/あるいは衛星方式の標識ブイを設置できる。氷原上の油汚れの範囲内には、空中からの石油流出の監視を軽減するために、点滅灯を付けた複数の支台を設置できる。サハリン大陸棚でのダイナミックな結氷過程は、結氷の監視を困難にするので、同時に若干の監視方式の利用が必要とされる。

空中偵察は目視の監視方式で、また機体の遠隔測定システム—前方視界の赤外周波帯レーダーで、実施することができる。これは、氷の凝結力が小さい場合にだけ適用できる。結氷状況の監視と重要な結氷の追跡を文書化するためには、RADARSAT[レーダー衛星]の映像形成システムを利用することもできる。目下開発段階にあるが、しかし氷の表面上にある流出石油を発見するため有望な、もう一つの装置となるのはレーザー光センサーである。現行の各種遠隔測定方式は、氷の下にある流出石油の頼りになる発見を保障しないので、この場合は流出石油を発見する手動方式が適用されることになる。

モニタリングの補足手段として利用されることになる、石油流出の幾多の数学モデルがある（例えば、この章でこれまでに考察している VO5 3-2 と OILMAP）。流出石油が移動する各種軌道モデルは、電算機での連続計算で作られ、水面上における流出石油の振舞いの幾つかの様相の予測用である。これらの様相に含まれるのは、石油流出の移動（移流）および/あるいは広がりおよび/あるいは風化である。リアルタイムで働く各種の数学的モデルは、石油流出のときの機動的なモニタリング手段として利用することができる。然る

べき各種環境条件のデータや石油流出の量と特質のデータの入力条件が満たされるならば、流出石油の移動の軌道予測を行うことができる。この情報は、現に起きている石油流出の追跡とモニタリングのためと、後続する流出石油の一掃措置を実施するなかでの補助的手段としても利用できる。

## 9.4 石油流出の影響評価

生態学的立場から重要なのは、海上での主要な2つの石油流出タイプを区別することである。そのなかの一つは、沿岸線との接触のない公海のなかで始まって終わる石油流出を含んでいる。通常それらの結果は、一時的、局地的で急速に原状回復が可能な性格をもっている（激しいストレス）。別のそして最も危険な石油流出のタイプは、海岸への油汚れの打上げ、沿岸での流出石油の蓄積、沿岸水域と潮間帯での長期的な環境の侵害を予想している（慢性的なストレス）。これら2つの予測は本プロジェクトの枠内で同時に展開しえて、石油流出は海岸の間近で起こりうる。石油流出の継続時間と規模によっては、生体レベルでの環境に対する反応上での異常と死滅（魚類・プランクトンの棲息する外洋水域での石油流出の初期段階）から、各種の個体群と動植物群での構造的、機能的な再編（潮間帯で慢性的な影響がある場合）まで、広範な驚異的影響が認められうる。地図 6.5-1 で引用してあるのは、海中と表面水域で石油流出の影響を受けかねない、若干の生態学的に敏感な種類と棲息場所に関するデータである。

### 9.4.1 栄養レベルの低い生物への影響

海水と海底堆積物中で予想される流出石油の濃度範囲を区別する場合、石油流出を蒙った諸地区で直接測定した結果によって得られたこれらの数量の特徴的な値が利用された（Baker その他、1991年；GESMAP, 1993年；パーチン, 1997年）。公海で石油が流出した場合、水棲生物相の様々なグループへの影響の性格は、表 9.4-1 で総括した通りである。

表 9.4-1：公海と沿岸水域の各種海洋生物への石油流出の影響

生物群	影響の状況とパラメータ*	予想される障害とストレス
植物プランクトン	1	光合成強度、種の構成の変化、油汚れの拡散後急速に（数時間内と1昼夜の間に）消えるその他の障害
動物プランクトン	1	生理学的、生物学的な各種異常、相対数と種の多様性の減少、油汚れの拡散から数昼夜（1週間）後に消えるその他のストレスの現れ
底生動物（外洋水域）	1	記録される変化と応答反応は、海底堆積物での石油汚染がないため可能性が小さい
底生動物（沿岸水域）	2	ありうるのは致死近い反応、相対数の低減、回復期が数年以下の底生生物群の種の構造の局部的障害
底生植物	2	沿岸大植物群での原状回復可能な構造的、機能的な障害
魚相（外洋水域）	1	汚染地区の成魚が逃げる形での環境への反応。魚類プランクトンの壊滅。個体群の変動は自然変動を背景に判別し難い。
魚相（沿岸水域）	2	魚の摂餌基地の悪化。ありうるのは遡河魚の回遊障害、局地的で可逆的な性格の個体群の再編

\*1 深さ 1 m 以下での 1~10 mg/l 以下の石油炭化水素濃度をもった外洋表面層の石油

による一時的な（数昼夜以下の）汚染

\*2 0.1～10 mg/lの枠内での水中での石油炭化水素の濃度をもち、 $10^2\sim 10^3$  mg/kgのレベルまで海底堆積物にそれらが蓄積した、沿岸水域の一時的な（数ヵ月以下の）汚染

#### 9.4.1.1 プランクトンへの影響

プランクトンの生態学的分類では、厚み数センチの上層（最も汚染されている）に棲息している生物と水面下動物群が、海面上への石油流出の最も有毒な影響を経験するにちがない（パーチン、1979年）。

植物プランクトンへの石油流出の影響は、刺激的なこと（成長強化と突発的発育）から光合成と成長の抑制まで様々でありうる。動物プランクトンのなかで有毒な影響は、真っ先に甲殻類プランクトン形態と多くの無脊椎動物の稚魚（ノープリウス）形態という動物相で現れるが、このことは、実験と現場作業の結果によって確証されている（Swan, 1994年）。

一般に、海の公海（外洋）部分で石油が流出した場合、プランクトン群の構造と機能の何らかの安定した障害の欠如について、これまでの研究の経験によって下記の理由で一意的に主張することができる：

- 流出石油が水の厚い層のなかで無害レベルまで分散し薄くなるに従って、流出石油の濃度が急速に（数時間と1昼夜の間に）低下する。
- 「新しい」植物プランクトンと動物プランクトンが水塊の移動によって隣接海域から移動する。
- 多種類の急速な繁殖によって起るような、植物プランクトンと動物プランクトンの数とバイオマスの高い回復速度。

このテーマで公表された多数の著作のなかでは、1つも同じものではなくて、そこでは植物相と動物相のプランクトンにとっての石油流出の不可逆的で安定した諸結果が示された。動植物相のプランクトンへの流出石油の影響は、恐らく短期の激しいストレス（数時間～数日）に限られて、あるいは生物プランクトンの死滅、あるいはより大きい生物による動物プランクトン乃至は無脊椎動物の食べ尽くしをもたらす。

中層プランクトンへの石油汚染の影響に関するデータの大多数は、橈脚類に関わる。Calanus と他の3種類の成熟した個体は  $1\mu\text{l/l}$  の濃度の石油を含む水に5～60分間沈めたあと死ぬことが証明された。Acartia は  $100\mu\text{l/l}$  の石油を含む海水中にいたあと、1昼夜後

に死ぬ。また *Oithona* は汚染にはもう少し安定していることが判明している。

汚染物質の残留物の大部分は、極めて大量の橈脚類の食べ物と大きさの点で一致している。そのことは、厚い水層全体で動物プランクトンによる浮遊微粒子の激しい消化が起っていることから重要である。これらの微粒子の呑み込みは、直接それらの摂餌の時点でそれらザリガニに有害な影響を及ぼさないけれども、結局餌とともにそれらを呑み込むことが、上述した橈脚類にとってその後の数時間あるいは数日間に死亡に至るまでの大変有害な諸結果をもたらしかねないことが知られている。汚染物質の微粒子を喰い物と一緒に掴み取るには十分大きな、それらのコペポディッド期と底生無脊椎動物の若干のプランクトン栄養幼生にも、類似した場景を推定することができる。その結果それらは、必要な量の餌を十分集められないで、そのことが餌不足で個体の一部の死をもたらすのである。

#### 9.4.1.2 底生生物への影響

公海で油汚染水が急速に移動して広がる時、浮遊微粒子の蒸発、光分解と生物学的腐敗によるのと同様に、海底への流出石油の沈殿は浅海水域においてさえ実際に欠如している。そうした沈殿は通常、沿岸の浅瀬の閉ざされた海域と半ば閉ざされた海域（湾、入江）での流出石油の長期の蓄積という状況でだけ発生し、また春期（厚い水層での浮遊微粒子やその他の汚染物質を急速に処理することのできる動物プランクトンと珪藻生成が少ない4~5月）に起こった石油の流出にとっても同様である。このように、潮間帯と亜潮間帯上手の枠外にある公海で流出石油が広がる場合、底生生物群への目立った影響を予想する根拠はない。

浅瀬では、石油微粒子が強く堆積した場合、海底の動物相と植物相は動物プランクトンと植物プランクトンのため検討したのと同じ各種変化を経験する。このことは、海底動植物群の構造と機能の絶え間ない変化が大変少ないかあるいは全く欠けた、主として激しい短期の影響である。

チャイヴォ湾、ナビリ湾、ルンスコエ湾、ピリトゥン湾への油汚れのどんな移動といえども、それらの浅瀬、高い自然繁殖性、漁業生産性と水域関連動物相の大群のせいでとくに危険である。春、秋と夏の季節における底生動物、大植物 (*Zostera marina* と *Z. japonica* その他の種類) への大規模な影響は、漁獲種と保護種を含めて、回遊魚と鳥類に対して重大な諸結果をもたらしかねない。モネロン島周辺とアニーヴァ湾での石油流出は、同様に底生生物に強い影響を及ぼしかねない。モネロン島周辺の浅瀬の温かい海中にいる底生生物群は、極東水域としてはユニークで、唯一の個体群—腹足類 *Notohaliothis discus* や[ロシア連邦]赤書に記載の種 *Tugali gigas*[腹足類軟体動物]も含んでいる。これらの浅瀬はウニとナマコという漁獲個体群も含んでいる。アニーヴァ湾ではキンコ、小エビと昆布の漁獲場が沢山ある。

### 9.4.2 魚類への影響

魚類にとっての石油流出の極めてありうる否定的な諸結果は、海の浅瀬部分と水の循環の弱い水域で監視されなければならない。周知のように生涯の初期の魚類（卵と幼魚）は、成熟した個体より石油の影響に対して敏感なため、これらの段階での魚類の相当な部分は、流出石油の十分高い濃度の有毒成分と接触すると死滅しかねない。しかし、計算と直接的な観察の結果が示しているように（Baker その他, 1991年；Neff, 1993年；Wiens その他, 1999年）、その種の損失は、魚類の胚発生期と杯発生後の成長期における高い、変わり易い自然死が背景にあって判別し難い。

懸念を引き起こすのは、サケ・マスが大量に産卵するため陸地へ移動する時期に、また幼魚が河から海へ降るとき、サケ・マス類の回遊が妨げられる可能性である。この点では、公海で流出した油膜の下での石油汚染のレベルは、水深によって急低下し、5~10 m の水位では背景値に接近することに注意を喚起しなければならない。アラスカ海岸やその他のサケ・マス繁殖地区で強い流出石油が起ったあとでの、長年の詳細なそうした種類の現象の研究は、サケ・マスとその他の漁獲対象における漁獲個体群の状態の主要なあらゆるパラメータ（資源、数量、回帰、漁獲）が、それらの自然なダイナミックスの枠内に留まっていることを示した（McGurk その他, 1993年；Page その他, 1998年；Wiens その他, 1999年；Edwards, White, 1999年）。強い流出石油による汚染を受けた諸地区での「母川回帰」（産卵河川へのサケ・マス の回帰）への影響の特別試験と監視は、清浄な川と石油流出地帯にあった河川、河口、下流地区での太平洋サケ・マスの回帰上で、何らかの相違を見出さなかった（牧その他, 1995年；Birtwell その他, 1999年）。

公海上で流出石油が広がる場合、汚染されるのは表面近くの水域である。サハリン東北では汚染された水塊地帯は、幼魚とサケ・マスの成魚個体、イトウとサハリン・チョウザメの棲息分布図の外になる（夏期 - 秋期）。その場合に影響を受ける主要な種類に分類されるのは、大量の外洋種と外洋幼魚を伴う魚種—スケトウダラ、ニシン、恐らくカワガレイ・タカノハガレイである。

成魚個体は汚染された水域を積極的に去ることができるので、外洋幼魚は海面での石油流出に対する極めて大きな脆弱性が特徴である。幼魚の死滅テンポが常態では大変高く、年々強く変わることを考慮に入れると、主要な魚種の漁獲個体群のレベルでの影響は確実に評価されえない。個体群の特徴上での変化は数年後にやっと現れることができる。評価が基本的に漁獲統計に基づいているからなおさらである。生物学的、海洋・河川気象学的な現象の多くは、相乗効果の現われをもたらしながら、場を一層複雑化しかねない。石油流出と関連した各種要因の作用による慢性的で累積した影響の現われは、影響の短期性や、結果として、炭化水素の生体蓄積の影響の欠如と関連して、ありそうもない。

チハチェヴォ湾での 1998 年の石油流出は、沿海地方北部でのニシンの主要な産卵地の

一つとしての湾の意義を著しく低下させた。底生植物と底生動物の状態が石油流出の前の水準に戻ったにも拘らず、ニシンの個体群は回復しなかった。

### 9.4.3 海の哺乳類への影響

石油流出は海の哺乳類とそれらの棲息環境の存在に脅威を及ぼしかねない。1) ボーリング中と操業中の油井数、また将来ボーリングが予定されている油井数も少ないので、そのうえ、2) 既存の様々な安全弁、同種作業の平行実施システムと監督プロトコールのお陰で、プラットフォームからの石油流出の可能性は小さい。パイプラインでの破裂による石油流出はありうるが、しかしそうした流出は、とくに冬の諸条件下で広大な結氷があるときはなお一層疑わしい。「サハリン-1」の現場の開発と関連した石油流出が及ぼしうる影響の種類は、以下を含んでいる：

- 1) 流出石油との海の哺乳類の接触と有毒物質の蒸気の呼吸による彼ら（オットセイ、アザラシ、セイウチなど鰭脚亜目の動物とクジラ）への直接的な否定的影響。
- 2) 海の哺乳類の食物資源への影響を通じて起こる、彼らへの媒介的な否定的影響。
- 3) この地区での海の哺乳類による摂餌の停止。
- 4) 当該地区の流出した石油の清掃と関連した騒音や作業との関わりで、流出石油地区を海の哺乳類が回避すること。

Richardson その他(1989年)、Wells その他(1995年)、Rice その他(1996年)の著作では、冷たい水中に棲息している海の哺乳類に対して流出石油が及ぼす、影響に関する広範な情報が引用されている。Moore と Clarke は（出版物のなかで）コククジラに対する石油流出の影響に関する情報を総括している。手元にある情報によれば、1969年にサンタバーバラ海峡で（Reeves, 1977年に）、あるいは1989年にプリンス・ウィリアム海峡で（Geraci, 1990年に）石油が流出した結果、コククジラは1頭も死ななかつたうえに、重い障害も負わなかつた。しかしこれらの地区はコククジラにとって重要な摂餌の海域ではないが、無脊椎動物から成る彼らの餌の石油製品による汚染が、クジラに否定的影響を及ぼす公算は全く大きい。実験室での研究結果は、クジラ目のひげと、コククジラの皮が石油の有害な影響に対するある程度の安定性をもっていることを示している（Geraci と St. Aubin, 1985年; Geraci, 1990年）。それにも拘らず石油あるいは分散剤は、これらの物質がクジラの常食とする底生生物の死滅か、あるいは汚染を引き起こすので、コククジラへの媒介的な否定的影響を及ぼしかねないと、Hansen（1985年）は指摘している。

概して海の哺乳類は（ラッコを除いて）、海鳥や無脊椎動物のようなその他の海の生物より受ける石油流出の影響が少ない。クジラと鰭脚亜目の動物を保護しているのは絶縁脂

肪層で、当動物の外面への流出石油の付着は体温調節に影響を及ぼさないことが明らかである (Kooyman その他, 1976年, 1977年; St. Aubin, 1990年; Geraci, 1990年)。しかしラッコ、オットセイと若いアザラシの皮は絶縁機能を果たしているが、そのことと関連して彼らは石油流出で強く被害を受けかねない。

石油流出の影響を受けかねない水域は極めて多様で、流出量、時季、海の哺乳類の分布データ、流出石油の前後の環境条件、石油の流出結果一掃に必要な時間に依存している。

夏季に強い風があるときタタール [間宮] 海峡で起こるタンカー事故の結果、石油はかなりの距離を流されるかもしれない。冬期には同様な事故の結果、石油は大浮氷群の流氷に挟まれるかもしれない。そしてその流される距離は短くなる。

サハリン大陸棚の北西でのパイプラインの破断あるいは石油の流出は、パイプラインに取り付けた複数の非常閉鎖バルブのお陰で、大損害をもたらさない公算が極めて大きい。しかしパイプラインの敷設が計画されている地域の近くには、コクジラが棲息して索餌している地帯があって、その結果石油流出はやはり重大な諸結果を、ただし影響の限られた地帯で引き起こしかねない。

#### 9.4.3.1 鰭脚亜目の動物への影響

石油流出の影響に関する各種報告書は、石油による汚染がアザラシのわずかな死亡率を引き起こしえたが、それは大規模には記録されなかったことを示した (St. Aubin, 1990年)。石油流出が最も強い影響を及ぼしたのは、水が冷たい状況下での若いアザラシに対してだった (St. Aubin, 1990年)。Bwounell と LeBeouf (1971年) はカリフォルニア・アシカや、若い動物の死亡率に対するサンタバーバラ海峡での石油流出の目立った影響を発見しなかった。海の哺乳類に対する石油流出の影響は、大多数の場合必要な情報がなかったため、および/あるいは後続する研究の実施期限が余りにも短縮されたため、十分研究されなかった。

集中的で長期間の研究は、アラスカのヴァルディス湾での石油流出後に行われた。若干のデータは、ヴァルディス湾での汚染の結果プリンス・ウィリアム・サウンド[:海峡]にある汚染された群棲地で、毛が生え変わる島アザラシの個体群の多大な死亡率と、それと関連した36%の長期的な減少を立証している (Frost その他, 1994年)。調査のなかではまた、アザラシには若い世代が現われなかったが、この減少は自然な死亡率の結果だったという推定も述べられた。汚染された浅瀬における島アザラシの子供の死亡率は23~26%だったことが証明された。そのうえ、これらの数字は自然な死亡率を上回っていると考えられた (Frost その他, 1994年)。もっと最近の報告書は、島アザラシのそうした高い死亡率がヴァルディス湾での石油流出の結果起こったという証拠はないことを示した (Frost その他, 1994年)。それにも拘らず、以前に行われた航空写真撮影のデータ分析と、以前の調査の分析結果に従って行われた統計学的仮説 (Frost その他, 1994年) は、ヴァルデ

## 第6巻 第9章

## 石油流出の影響および発生後の対策

イス湾での石油流出が島アザラシの多大な死亡率をもたらしたという争い難い証拠を提供している。最新のデータの分析結果は、アザラシが汚染された入り江に立ち寄りなかった、あるいはそこから去って行ったうえに、死亡率の高まりが記録されなかったという仮説を証明している。

トドに対する石油流出の影響の争い難い証拠はない (Calkins その他, 1994 年)。汚染はトド自体にも (島アザラシとは違って)、彼らの群棲地にも、継続的な効果を及ぼさなかった。トドの群棲地には、島アザラシの場合とは違って、急勾配の海岸があって、高波の影響を受ける。

ワモンザラシに流出石油がかかった場合は、目が冒されかねない (Geraci と Smith, 1976 年, St. Aubin, 1990 年)。これらの影響は一時的で逆行可能なものと特徴づけられてきたが、それでも、目との流出石油の長期の接触は逆行不可能な障害を引き起こしかねない (St. Aubin, 1990 年)。

流出石油はまた、海の哺乳類の生体に食物からと気道から入りかねない (Geraci と Smith, 1976 年, Engelhardt その他, 1977 年)。石油の一部は嘔吐物あるいは排泄物とともに生体から排出されるが、しかし一部は呑み込まれて、生体に有毒な影響を及ぼしかねない (Engelhardt, 1981 年)。清浄な水中に動物を戻すと、彼らは体内の汚染物質を浄化されうる (Engelhardt, 1978, 1982, 1985 年)。石油汚染は、生体の重大な体内損傷を引き起こしかねないかもしれないような影響を、アザラシの生体には恐らく及ぼしえないであろう (Geraci と St. Aubin, 1980, 1982 年)。

流出石油による汚染に対するアザラシの環境反応は知られている - 彼らは、積極的な汚染一掃作業がごく近くで行われているときでさえ、水の中に入りたがらない (St. Aubin, 1990 年 ; Frost その他, 1994 年)。

摂餌不足、寄生虫の重い感染のような何らかの自然なストレスの影響を受けているアザラシは、石油汚染による追加的なストレスの結果死にかねない (Geraci と Smith, 1976 年, St. Aubin, 1990 年)。自然の (飢えのような) ストレスを受けなかったアザラシは、石油汚染の状況下で生き残る公算が一番大きい。

長期間大量の流出石油の影響を受けたアザラシは、死にかねない。そうした長期の影響は石油が湾内で流出したか、あるいは湾内へ流れてきたら起こりうる。あるいはアザラシが棲息している定着氷に囲まれた水域に石油が流出した場合、そうした現場に棲息しているアザラシは、長期の汚染に耐えられなくて、彼らのなかの若干は死ぬ。

アザラシが流出石油を発見して、汚染された諸地区から去って行く能力が見られても、明らかにその能力は限られている (St. Aubin, 1990 年)。アザラシは、汚染物質を一掃する積極性の高まりが見られるような地域をやっと去って行くことができるが、それにも拘らず彼らが石油流出地帯に留まる確率は大きい。

結論として、アザラシの流出石油との外面的接触、汚染された食物の偶発の摂取あるいは汚染された粉雪の吸込みは、何らかの環境反応あるいは生理反応を引き起こさないことを指摘しなければならない (St. Aubin, 1990 年、Williams その他, 1994 年)。アザラシが重油膜のある定着氷に囲まれた水域にいる場合、あるいは彼らの群棲地近くに石油が集まっている場合には、結果は深刻になりかねない (St. Abubin, 1990 年)。公海での石油流出の影響は、アザラシに小さい、局地的で短期的な影響を及ぼす公算が大である。石油流出が棲息地あるいは繁殖の中心地に及ぶならば、そうした場合の影響は控え目で点状か、あるいは地域的、中期的、甚大なものになりうる。

#### 9.4.3.2 ラッコへの影響

最新のデータによれば、ラッコはプロジェクト「サハリン-1」での開発地区では記録されていなかったが、しかし彼らはプロジェクトが予定されている 40 年間には現われるかもしれない。ラッコは脂肪の絶縁層を持ってはいないが、毛皮と、食物を呑み込む極めて高いテンポで可能になっている積極的な代謝の高いレベルとのお陰で、冷たい海水のなかで生き残っている。石油で汚染される結果毛皮はぼろぼろになって、その絶縁能力が破壊される。ラッコは石油を取り除こうと試みる。しかしラッコの体が全部石油で汚染されたら、ラッコは死ぬ (Geraci と Williams, 1990 年)。毛皮が汚染されたら、ラッコはそれを取り除くために多くの時間を費やす。毛皮の絶縁機能が失われる結果体温が失われるほか、体をきれいにしようとして、ラッコは食べ物を採取するために使うことができるだろう貴重な時間をも失う。石油流出は肺気腫、ストレスの結果起こる胃の病変や内出血のような重大な内臓の損傷を引き起こす (Lipscomb その他, 1994 年)。その結果ラッコはそうしたストレスに完全に支配されて、彼らはショックに陥って死ぬ。

ヴァルディス湾で石油が流出した結果、推定で 4000 頭のラッコが死んだ (Ballachey その他, 1994 年)。流出石油の影響を受けて生き残り、汚染を完全に避けたラッコの群では、死亡率のレベルアップが記録された。そのことは、察するに汚染された食べ物との接触以上に毛皮の汚染の結果および/あるいは食べ物から生体へ石油が入った結果である (Ballachey その他, 1994 年)。汚染を蒙り、リハビリを経て解放されたラッコも、異常に高い死亡率レベルと低い出生率レベルを示した。

ラッコは、流出石油汚染の直接的な長期の致命的な影響を最も大きな確率で受けた、海の哺乳類である (Geraci と Williams, 1990 年)。流出石油と接触する大部分のラッコは、すぐでなくても若干の時間が経ってから大きな確率で死ぬ、という結論を出すことが出来る。ラッコの出現はサハリン地区で記録されて来なかったにも拘らず、石油流出がクリール列島へ達するならば、その場合影響は最高に、点状かあるいは地域的に、中期的に、甚大になりうる。

### 9.4.3.3 クジラ目への影響

クジラの体温維持は絶縁脂肪層のお陰で行われており、そういうわけで、流出石油が彼らの体温調節に影響を及ぼしても、それは最低限である。クジラの皮への流出石油による汚染は、最小限だと判明しており、クジラ健康には殆ど影響を及ぼさない (Geraci, 1990年)。

石油流出の結果 (ヴァルディス湾とサンタバーバラ海峡でのよく調査した石油流出を含めて)、クジラが死んだことを証明するデータはない (Geraci, 1990年)。データは、回遊しているコククジラに対するサンタバーバラ海峡での石油流出の極めて小さい影響を証明している。石油流出と彼らの死亡率間の関連が欠如していることは明らかである。石油流出後に記録された死亡動物の数の増大は、調査活動の積極化を証明している (Geraci, 1990年)。クジラはあるいは流出石油を発見してそれとの接触を避けることができる、あるいは流出石油は彼らに如何なる影響も及ぼさなかった、という結論が出た。

恐らく、ヴァルディス湾での石油流出地区に棲息しているシャチの群の減少は起こったかもしれないが、しかし石油流出と当動物数の減少間での明白な因果関係は突き止められなかった (Dahlheim と Matkin, 1994年)。

ヴァルディス湾での石油流出は、プリンス・ウィリアム・サウンド[海峡]でのザトウクジラに対する多大な影響を及ぼさなかった (von Ziegesar その他, 1994年)。プリンス・ウィリアム・サウンド[海峡]からのザトウクジラの一時的退去は指摘されたが、しかしそれは、石油汚染の結果でも、船や飛行機の進入あるいは食物源の移動の結果でもありえたのである。

クジラ目の幾つかは能力をもって、汚染地域から時々退去するが、それでも他のものは汚染された水域に迷い込みながらも、何らかの明らかな影響を受けない (Geraci, 1990年, Harvey と Dahlheim, 1994年)。

目に流出石油が入った場合、影響はワモンアザラシへの場合と同じになりかねず、目への長期の影響は不可逆的な損傷を引き起こしかねない (St. Aubin, 1990年)。

流出石油は汚染された食べ物から、あるいは呼吸器を通じてクジラの体へ入りうる。流出石油の一部は嘔吐あるいは排便で排出されるが、しかし一部は体に呑み込まれて、有毒な影響を及ぼしかねない (Smith, 1980年)。これらの動物が清浄な水域へ帰ると、彼らは体内の汚染物質を浄化することができる (Engelhardt, 1978, 1982年)。石油が流出した状況下では、クジラの体に入った石油が重い内臓障害を引き起こす確率は小さい (Geraci と St. Aubin, 1980, 1982年)。

原油は、ヒゲクジラのひげを覆ってフィルター効果を低減しかねないが、しかし少し時

間が経ってからそれは回復しうる (Rechardson その他, 1989 年及び Geraci, 1990 年)。流出石油によるヒゲクジラの汚染は、餌あさりの効果に最小限の影響を及ぼす (Geraci, 1990 年)。

石油汚染が影響を及ぼした結果発生する、歯クジラの活力の激甚な低下はありそうにもない。

公海でのクジラに対する石油汚染の影響は、計算に入れないでよいが、しかしそこから当動物が去ることができない沿岸水域と氷原の端では、石油流出は彼らに多大の、局地的、中期的な影響を及ぼしかねない (Geraci, 1990 年)。夏に河口で棲息しているシロイルカは極めて強い影響を受けかねない。

#### 9.4.3.4 その他の影響の評価

海上での小規模な石油流出が哺乳類に及ぼすその他の影響は、少な目に軽視できるだろう。しかし、チャイヴォ湾とピリトゥン湾の近くで、あるいはアザラシの群棲地近くで、あるいは不利な(嵐、流水の)気象条件下で起こる大量の石油流出は、アザラシに、また恐らくクジラの摂餌場に多大の余分な影響を及ぼしかねない。

#### 9.4.4 潮間帯と亜潮間帯上手での生態学的な影響と諸結果

9.2 項で検討した石油流出の予測は、大量の流出の場合海岸に流出石油が押し寄せる確率がどんな種類の予測でも多大なことを示している。

海岸線に油汚れがついた場合、石油の堆積、移動と変化の主な過程は、風による波、嵐、満潮と干潮の影響を受けた潮間帯、亜潮間帯と亜潮間帯上手の水域で進行する。タタール[間宮]海峡の海岸での満潮の高さが 0.5~2.3 m で風による波が 2.5 m 以下の場合、この地帯の幅は数 10m、数 100m に、幾つかの場合には数 km に達しうる。この地帯の自己浄化能力は、何よりまず地形学的な(屈折した)海岸、その地理的構造と海岸の地層の岩石学的特徴(構成、分散度)に依存し、また波と満潮の過程のエネルギーにも依存するだろう。極めて様々な地域での数多くの観察から明らかなように、露出した石だらけの海岸から砂・じャりの浜辺や閉ざされた入り江へ移ると、流出石油の安定性と、従ってその有害な影響は激増する。表 9.4.4-1 では、海岸の形態、海岸の地層の粒度分析的構成や沿岸地帯の流体動力学的な考慮に基づいて、潜在的な石油汚染へのサハリン海岸線の脆弱性の規準に従って作成した、サハリン海岸線の分類が引用してある。

潮間帯の生物相に対するありうる生物学的な諸結果については、表 9.4.4-2 で評価について判断することができる。これらの評価は、堆積物だけではなくて水中にも流出石油があるために、生体への流出石油の影響が相当な程度現われる潮間帯下手と亜潮間帯に大い

## 第6巻 第9章

## 石油流出の影響および発生後の対策

に関わりがある。それらの場合通常群の種構造の再編は、安定した種類の内棲動物（若干の種類が多毛類）の寄与と敏感な種類（とくに棘皮動物と甲殻類）の急速な消滅を高める方へ発生する。環境の質が回復する時間は、様々な条件下で1ヵ月から1年以上までの広い範囲で様々でありうる。群の構造の回復は、汚染の諸結果の完全な一掃後でさえも数年、数十年に至るまで必要としうる。

[表 9.4.4-1 は次ページ参照]

表 9.4.4-1 石油汚染に対する脆弱性の程度によるサハリン海岸線の分類

自浄能力	海岸線の特徴とタイプ	プロセスの特徴
高 (タイプ I)	露出した岩の多い海岸と石の多い海岸	波と砕け波の押流しにより石油は数週間で除去され、海岸線の浄化は必要でない。
中 (タイプ II)	小粒と中粒の砂浜のある堆積海岸	流出石油は小粒の砂の表面と、より大粒の砂の上層に堆積して、数ヵ月間存続し、小粒の砂浜では各種の機械的方法で除去されうる。
低 (タイプ III)	大粒の砂、砂利と玉石の砂浜のある侵食海岸	流出石油は堆積物に急速に浸透し、何年間も存続しかねない。
極低 (タイプ IV)	大丸・玉石と砂利でできた砂浜のある海岸の侵食地区	数年間流出石油の急速な堆積と埋伏の条件がある。汚染が強い場合、アスファルトの表層が発生しかねない。

表 9.4.4-2 海の潮間帯と亜潮間帯での石油流出のありうる生物学的諸結果

海岸タイプ*	自浄能力	最大限の石油汚染		ありうる影響
		水**,mg/l	土壌,mg/kg	
I	高	<0.1	<10 <sup>2</sup>	棘皮動物と甲殻類、天草の死滅。亜致死の影響。群の構造障害。回復時間は5年以下
II	中	0.1~1.0	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>3</sup>	棘皮動物と甲殻類の死滅、多毛類の優勢化。バイオマスの低減、群の構成変化。回復時間は10年以下
III	低	1~10	10 <sup>3</sup> ~10 <sup>4</sup>	生物学的影響は植物相と動物相の実際に完全な欠如で弱く現われている。
IV	極低	>10	>10 <sup>4</sup>	生物学的影響は植物相と動物相の実際に完全な欠如で弱く現われている。

#### 9.4.5 淡水の陸封水域での生態学的な影響と諸結果

パイプラインでの事故の結果河川に流出した石油は、流れに沿って下流へ長大な距離を広がりかねず、魚、プランクトン、底生生物、鳥、哺乳類に、さらに河川に隣接している湿原に重大な影響を及ぼしかねない。魚の大量死は通常事故から24時間以内に起こるが、しかし影響地帯は流出現場から下流へ数キロメートルと相当程度限られており、また流出量、水温と気温、流出石油の化学的特徴と河川の水理学的な特質に懸かっている。鳥と哺乳類は目視であるいは臭いで石油流出を発見して、接触を避けることができるので、彼らは直接流出石油で死ぬことが比較的稀である。水中の大植物、深い根を張った多年生植物は、極めて少ない程度に影響を受け、通常高濃度の石油への短期的な暴露に打ち克つ。生物相への流出石油の激しい影響（死亡率の高まり）は通常、数日あるいは数週間に限られる。石油の最も有毒な留分の大部分は急速に蒸発し、あるいは日光の影響で分解する。大部分のタイプの生体は、長期の慢性的な影響があると被害を受けかねないが、しかしデータの不足でこれらの影響の大きさを評価することはできない。

流出石油の堆積が最も活発に発生するのは、沿岸の渦や深みの渦、堆積箇所、深水部、脇の可航水路、隣接した湿原と底の沈泥堆積物だらけの水域においてである。汚染が滞留するのが極めて少ないのは、岸と底が流れの速い、石の多い、砂質の河川地区である。気象条件による水位の上昇と下降は、石油汚染の拡散・波及を促すが、しかしそれはまた、底の堆積物に棲息する微生物による石油の自然な分解を刺激する。

流出石油で汚染された河川系の回復速度は非常に様々で、石油の流出量、温度、暴風状態の頻度と激しさ、事故結果を一掃する清掃措置の効率に懸かっている。天候の影響が弱い状況下では流出石油は環境系に長年存続しうるが、例えば低温のとき、石油汚染物の密集した「埋伏」が暴風の天候下で起こる場合もある。

河川底の付着生物は、生長速度が高くて、河川の水中の摂餌物質のよりよくなった成

分のため、比較的急速に（1週間で）回復する。摂餌物質のよりよい成分が発生するのは、流出石油があるせいと、石油流出の結果死んだ動物相の微生物による分解がひとりだけで起こるせいである。魚類の個体群の回復は1~2年間で起こるが、しかし石油流出が起こった時季と、被害河川へ魚を運びかねない支流の存在次第で、大幅に長引きかねない。流水直後あるいは秋に起こった石油流出は、これらの季節が産卵にとって極めて重要だから、魚の個体群に長期の影響を及ぼしかねない。太平洋サケ・マスと潜在的には亜個体群との通年級群は、産卵時に発生した石油流出の結果河川から完全に除去されかねない。

#### 9.4.6 陸上の脊椎動物への影響

どんな形の石油汚染も動物の棲息条件を悪化させ、草刈場の飼料生産性を破壊する。施設の建設と操業の際の敷地における汚染レベルは、動物の棲息環境への直接、間接の損害程度を規定する。陸上での石油流出をもたらすパイプラインの操業中の事故は、何より確実に、直接流出地帯で及ぼされる動物へのかなり局地的な影響があるが、しかし棲息地の汚染地区の完全な喪失をとまなう。そのほか流出石油は河川と小川に入り、そういうわけで面積が相当大きな地域が汚染されたことが判明する。事故一掃措置はまた、不安とありうる棲息地の壊滅という形で動物に影響を及ぼすことも考慮に入れるべきである。

建設作業の実施中に起こる陸封水域の汚染は、水中環境と直接接触する動物と水中環境の棲息動物らとに否定的な影響をもたらしかねない。水中環境の汚染は、その他若干の水関連の動物と鳥類に否定的な影響を及ぼす。各種の水中生物を常食とし、水中の栄養連鎖に加わっている様々な種は、とくに傷つきやすい。それらのうち極めて脅威を受ける立場にあるのは、魚食性の猛禽類 - ウミワシ、ミサゴ、シマフクロウのような、栄養ピラミッドの頂点にある複数の種の集団である。両棲類が産卵する陸封水域へ流出石油が入ると、繁殖期にある稚仔の大量死の原因になりうる。沈泥の多い浅瀬での流出油膜の沈殿は、若干の種類のシギ（イソシギ、アオアシシギ、アカアシシギその他）の摂餌棲息地の崩壊をもたらす。

陸棚での事故の結果発生した石油汚染は、鳥類の大量壊滅をもたらしかねない。流出石油との短期間の接触でさえ、羽毛の絶縁機能を破損して、鳥類の急速な死滅で終わる。死亡の確率は、体表面の汚染程度の増大、気温と海水温度の低下で増大する。冷水中では流出石油で激しく汚染された鳥類は、数時間内に死にかねない（Lamber その他, 1982年）。浮力と飛ぶ能力の喪失も、汚染を蒙った海生鳥類の間で起こる死の原因になりかねない（Flemming その他, 1982年, Lee その他, 1985年, Leighton, 1986年）。

高い生殖能力をもった種は、集団的ストレスを極めて受けにくい。希少鳥類と寿命の長い鳥類への影響は、一層深刻で長期的になる。鳥類の生態の性格にも大きな重要性がある。石油の少ない短期の流出でさえも、群体を形成している種類の鳥類に深刻に影響しかねない（例えばウランゲリ島、モネロン島、ホルムスク、クリリオン岬で）。これらの鳥も、伝

## 第6巻 第9章

## 石油流出の影響および発生後の対策

染病、餌不足、各種の厳しい天候条件のような自然の脅威のリスクを蒙っていることを指摘しなければならない。春と秋の鳥の移棲期に石油が流出した場合、重大な損害をもたらす見込みがある。重大な影響は、若干の希少種や保護種に対してありうるが、しかし手元の情報 (Kormak, 1989年, Boersman, 1993年) は、流出石油による汚染が地域の個体群の存在への脅威になるのは稀であることを示している。

即時の死で終わらない石油汚染は、長期間に多大な量の流出石油の影響を受けた鳥類の生体に重大な変化、しかも結局のところ避けがたい解剖学的、生理学的な各種の変化を引き起こしかねない (Khan と Ryan, 1991年)。それらの一つと見られるのは、汚染された獲物の摂餌とか、あるいは羽毛を浄化するとき鳥の体内へ石油が入ることと関連した有毒な影響である (Clark と Gorney, 1987年)。その結果は衰弱、腎不全、十二指腸と肝臓の壊死、貧血症、電解アンバランス、成長と再生産の鈍化である。あとで現われるそうした病理学的な変化で、鳥類の強く汚染された個体の外部の浄化によるリハビリの試みは、大多数の場合徒労に帰すことが判明した (Khan と Ryan, 1991年)。死が起こるには摂取した石油は相当な量にちがいないが、しかし原油による弱い中毒でさえも、再生産能力を50%まで低下させる (Butler その他, 1988年)。

孵化期の鳥類の胎児に対する作用の影響も、原油の壊滅的な影響の一つとされている。一連の著者の研究が示したように (Albers, 1980年, Albers と Szaro, 1978年 b, Couillard と Leighton, 1990年 a, 1990年 b)、病理学的な発育障害あるいは胎児の死を引き起こすには、卵の表面へかかる原油 10  $\mu$ l で十分である。鳥類の産卵は通常、両親の羽毛にたまった石油で汚染される。卵の殻を通ずる胎児への石油の浸透は、ホフマンの諸著作で示された (Hoffman と gacv, 1981年)。鳥類の胎児に対する流出石油の破滅的な影響は、孵化の初期段階でとくにはっきり現われている (Couillard と Leighton b, 1989年)。この時期に卵の表面へ流出石油が 1  $\mu$ l かかったら、骨の変形や発育の遅れと関連した奇形の現われを引き起こした。そのほか、卵の殻の厚み、卵黄の成分での変化、肝臓、腎臓の病理学的な変化、体重の喪失と雛鳥の孵化率の低下が認められた (Leighton その他, 1985年, Peakall その他, 1982年)。

石油による汚染に対する鳥類の脆弱性は、それらの摂餌方法と生態に依存している。影響のリスクが高い種は通常海面上に浮かんで、潜って摂餌する。それらのなかには各種のアビ、カイツブリ、ウ、ハジロ、ウミガラスやウミスズメがいる。サハリンではこれらの群は、様々な年や季節に全海鳥類の 41.6%から 92.7%までとなっている。これらの種はすべて、群れを成すことができるが、しかしアビ、カイツブリ、ウは少数でいて、ウミガラス、ハジロとウミスズメは密集した大群を成している。そうした訳で、単発的な小さい石油流出が多数の個体に影響を及ぼしかねない。中程度のリスクのある種は水面に浮かんで、水面からあるいは陸上で摂餌する。それらに入るのはミズナギドリ目、カモ・アヒル、カワガモ、ハクチョウとカモメで、それらは 7.3%から 58.4%までを構成している。カモメが摂餌のとき流出石油で汚染されるのは稀だが、しかしこの群の他の種と同様に、夜間に

## 第6巻 第9章

## 石油流出の影響および発生後の対策

水面に浮かんで流出石油の影響を受けかねない。影響リスクの低い種はアジサシ、シギやその他の沿岸鳥類を含み、それらは海岸で摂餌するか、あるいは水深 15 cm 以下の沿岸の浅瀬で摂餌する。これらの種は通常目視で流出石油を見分けて避ける。

鳥類の分布の性格と集合性も大きな意義をもっている。比較的短時間内の規模の小さい石油流出でさえも、汚染地帯で密集した群になって集まっている多数の鳥類に対して重大な影響を及ぼしかねない。鳥類相に石油流出が影響するリスクは、鳥類の季節的な移動期に顕著に増大する。この時期に沿岸水域と湾内では渡り鳥の密集した群れができて、災害地帯へやって来かねない。石油汚染が港湾水域と沿岸地区に広がるならば、鳥類は夏季にも多大な影響を蒙りかねない。水鳥の多数の群れが羽毛の生え変わりのためまさにここに集まって、さらに群れを成して巣をつくって雛を育てる様々な種の大多数が獲物を追う。

影響程度は、何よりもまず下に挙げた様々な種の個体群\*1の特質と石油のタイプ如何に懸かっている：

---

\*1種類A

これに属するのは、環境の否定的な影響への極めて大きな抵抗力をもっている各種の広域種である。通常これは、様々なタイプの餌を利用して、一定の摂餌方法に特化していない（雑食鳥、広食鳥）、広く分布した種（複数）である。それらの個体群は、数の多さ、高い繁殖力、急速な世代交替が特徴である。高い繁殖力は、外的諸要因によって引き起こされた如何なる攪乱の場合にも、個体群の安定性と個体数の急速な回復の実現を可能にする。

種類B

これに属するのは、遊牧あるいは定住の生活様式を行い、比較的に大きな行動圏をもっている平均的な動物と大きな動物である。この群の代表的なものは様々な地形（広生活体）に棲息しており、通常は、餌の選択に狭く特化していない。これらの種は適度な多産性をもっており、否定的な影響に一層敏感で、個体群の生殖指数に影響を及ぼしうる。攪乱要因に対する回答として、環境反応と棲息地区の取替え（回避）に優っている。

種類C

これに属するのは、低い生殖力をもった、稀少で分布圏の狭い様々な種である。通常これは、棲息諸条件（各種狭生境）に対する独特な諸要求を出しているか、あるいは一定のタイプの棲息地（狭分布）だけを利用しているか、あるいは餌の狭い特化をしている（狭食性動物）種である。これは、棲息条件の各種の変化、あるいは保護措置のない特化した摂餌基地の破壊に抵抗することができない、脆弱な動物群である。

種類Aに属する種は、短期間に数を回復する能力によって個体群のストレスを極めて少ない程度に受ける。同時に種類Bの様々な種に対する否定的な諸結果は、より深刻で長期的になる。死亡率が大変高い場合や、低いか、あるいは適度な生殖力をもった複数の種、さらに少数の複数の種については（種類C）、回復期は数十年に長引きかねない。生残りができる鳥類は、恐らく体重と力を失い、そうした訳でそれらは移動を続けること、あるいは繁殖にとりかかることが出来ない状態に陥る。分解の結果タールを含んだ数々の団塊が出来る状況下では、それらは全体として鳥類にとって無害なもので見られている。

石油流出がきわめて重大な影響タイプであるにも拘らず、蓄えられた経験は、石油による局地的な汚染が地域的な個体群の存在を脅威に直面させることは稀なことを示している（Kormak, 1989年）。個々の個体は死に、地方的な群体は顕著に減るか、あるいは完全に消え失せうるが、しかし、事故による流出後に実施された全面的な調査で、石油汚染は広く分布した様々な種の地理的個体群での各種変化の発生の主要な原因と見なされえないという結論を出すことができる。しかしこのことは、分布圏の狭い、少数の様々な種には関わりがなく、それらの個々の個体群の存在は、それら棲息動物の多大な死滅による脅威に直面しかねない。全体として、石油流出から保護対策の採択までの結果として発生する影響は、規模の点で地方・地域的な、短期で一時的な、可逆的で、弱から適度までと評価される（表 9.4.6-1）。

表 9.4.6-1 事故による石油流失のさい陸上の脊椎動物に対して

結果として発生する影響の評価

潜在的な影響源のグループ	陸上で石油流出をもたらす事故				海上のパイプラインでの事故、タンカーの事故				航空機による周回飛行			
	P	V	O	S	P	V	O	S	V	O	S	
動物のグループ												
グループ A												
両棲類と爬虫類	2	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
トガリネズミと齧歯目動物 [リス、ヤマネコ等]	2	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
スズメ	2	2	0	4	0	0	0	0	1	0	3	
グループ B												
水辺鳥類（巣居鳥類）	2	2	0	4	0	0	0	0	1	0	3	
水辺鳥類（移動鳥類）	0	0	0	0	3	2	1	6	1	0	4	
水辺イタチ	2	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	
猛獣(熊、大山猫)	1	2	0	3	0	0	0	0	1	0	2	
その他の猛獣	2	2	0	4	0	0	0	0	1	0	2	
トナカイ	1	2	0	3	0	0	0	0	1	0	3	
グループ C												
希少種（海鷲その他）	2	3	0	5	0	0	0	0	2	0	4	
保護区	2	2	0	4	2	2	0	4	1	0	3	

記号： P - 空間的な影響規模 V - 一時的な影響規模 O - 可逆性

S - 影響の総括的な評価（グループ 4=グループ 1+2+3 の指数の合計）

影響を及ぼした流出源は、時間的・空間的な規模を考慮して、影響の性格と影響が現われた程度によってグループ化した。分類結果は表 9.4.6-2 に示した。

表 9.4.6-2 事故の程度と現われの性格による流出源の結果として発生する影響の評価

影響源	影響のタイプ																平均総括評価
	棲息地崩壊				環境汚染				不安要因				直接的壊滅				
影響の規模	P	V	O	S	P	V	O	S	P	V	O	S	P	V	O	S	
陸上事故での流出	2	2	1	5	2	2	1	5	2	2	0	4	1	1	0	2	4.0
タンカーと海のパイプラインの事故	3	3	2	8	4	3	2	9	2	2	1	5	3	3	2	8	7.5
航空輸送の操業	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	4	0	0	0	0	1.0
自動車輸送の操業	0	0	0	0	1	1	2	0	2	1	0	3	1	1	0	2	1.8

記号： P - 空間的な影響規模の評価 V - 一時的な影響規模の評価 O - 可逆性  
S - 影響の総括的な評価（グループ 4 = グループ 1+2+3 の指数の合計）

### 結果として発生する影響の全般的評価

表 9.4.6-2 で分るように、事故による石油流出は陸上でも海上でも、適度な影響と多大な影響というランクに属し、その現われの程度は石油流出の規模如何に懸かっている。そのうえ海上での石油流出は、影響を受ける様々な種の生活サイクルの転換期に発生すると、甚大な損害を与えうる。そうした石油流出の公算は比較的小さいと指摘しなければならない。

## 9.4.7 計画中の各種施設が配置される地帯での生態学的な諸結果

### 9.4.7.1 サハリン東部

水深 6 m 以上の海底に棲息している動植物群に対する石油流出の影響は、軽微なものとするべきである。それにも拘らず海底の動植物群に対する最大の危険になるのは、石油流出の分散で、その結果各種の重い留分は海底に堆積しかねない。より浅い沿岸地区や、ボーリングする深海へ油汚れが流れ出すと、海底近くの水の層への石油の流入が強まり、石油は堆積物の微粒子を覆い、海底土に堆積する。しかしボーリング地帯での底生大動物の存在の不安定性と堆積物の強い移動で、底生生物の損失は軽微なものになる。サハリン東部の波打ち際の潮間帯には底生大動物が実際上いなくて、そうした訳でその損害は考慮に入れないでよい。

しかしチャイヴォ潟、ナビリスカヤ潟、ヌイスカヤ潟、ルンスカヤ潟への流出による油汚れの浸透は個々の危険をきたす。そのさい潟を海と連結している極めて生命で豊かな支流と、隣接している潟の浅い諸水域は、打撃を受けることになる。予測はこれらの潟に石油が達する可能性を示している。各種の結果は次の項で述べる。

### チャイヴォ潟とピリトウン潟

潟の浅さと満潮のかなりな範囲のせいで、流出石油が及ぼす潟の底生大動物への影響は破局的である。石油流出の有毒で物理的な影響は、水と空気の間でのガス交換の悪化、水中の照度と光合成強度の低減や、結果として魚群の大量死現象の進行をとまなう。洗剤の使用は、あらゆる水域範囲での流出石油の広がりや底への堆積をもたらすだけである。潟で強い石油流出があった場合の損害面積は、数十 $\text{km}^2$ になりかねない。潟で餌になる底生生物（多毛類や甲殻類）のバイオマスは $5\sim 25\text{ g/m}^2$ だが、小さい軟体動物（底生生物を餌とする魚の食べ物）を考慮に入れると、 $\text{m}^2$ 当り数 $100\text{ g}$ に達し、餌になる底生生物の損失総量は数 $100\text{ t}$ と算定される（損害を受けた面積の $\text{km}^2$ 当り $25\sim 500\text{ t}$ ）。

### ストレスに対する各種の優勢な種の反応

石油流出に課された予測（9.2 項参照）のシミュレーションのなかで得られた油汚れの軌跡、量と面積の評価に従って、生物群の最重要な構成要素に対する石油流出のあらゆる影響の質的な説明の試みが行われた。後者として検討したのは植物と動物の極めて大量の種であって、それら動植物群の生活機能は、それらの主要な構造的機能特性によって規定されている。

優勢なのは底生生物の種である。即ち大型植物のなかでは海藻 *Zostera marina* と *Z. japonica*、底生大動物のなかでは斧足類 *Corbicula sirotskii*、*Macoma takahokoensis*、潮間帯では端脚類動物である。魚の優勢な種のなかに入りうるのはスケトウダラ、ニシン、カレイ目の魚、コマイ、ハゼ目の魚、産卵で川に遡上するサケ・マスである。当地区で事故による石油流出の影響対象になりうるのは、高い密集度で棲息する群れを春期と夏期につくる海の鳥（カモメ、カモ、シギ）である。湾口にあるのはウミワシの棲息地、アザラシの比較的にな大きな群集地で、それらの子は3~4月に発生する。

激しいストレス：軟体動物と端脚類動物の死、海藻の優勢な複数の種の成長抑制。石油流出地帯にいる外洋水棲動物の卵と幼魚の死。水辺鳥類の季節的な休息地と餌場の喪失、鳥類と水中哺乳類の子の絶滅。

慢性的影響：斧足類と端脚類の数の低減。海藻、多毛類・デトリタス食動物（Capitellidae

科)の優勢化をもたらす潮間帯生物群の遷移。潟に(ニシン、コマイ)あるいは河川に(サケ・マス)遡上のタイミングを合わせた、魚の局地的個体群の個々の年齢グループの来遊率の低下。産卵効率、生殖物の質の低下。成長鈍化による生産物の損失。漁獲量の一時的な減少。鳥類の移動サイクルの乱れ、生息地区の縮小、海における哺乳類の数の低減。

累積的な影響: 海産物の商品的、生物学的な質の低下をもたらす底生無脊椎動物、海藻での炭化水素の生物学的な蓄積。

#### 9.4.7.2 サハリン西部

##### ネヴェリスコーイ海峡

予想される予定線地区での底生大動物の状態に関する情報が欠如しているにも拘らず、この地区での石油流出がピリトゥン湾とチャイヴォ湾のために述べたことと類似した状況をもたらすことを予測することができる。このネヴェリスコーイ海峡地区[大陸のラザレフ沖]の特徴は、海岸線から5~10 kmも続いている水深2 m以下の広大な浅瀬である。水深15 m以下の中部地区の幅は約5 kmである。

##### チハチョーフ湾

水域の半封鎖的性格は、一方では石油流出の場合に損害を与える汚染の影響を強めるが、他方では油汚れの局地化を促す。際立った満潮と干潮(範囲は3.5 m以下)による主な損害作用は、潮間帯地帯へ、とくにアマモ属が繁茂した浅い複数の入り江に及ぶ。これと関連して、1988年の事故による石油流出が、沿海地方北部のニシンの主要な産卵場としての湾の意義を急減させたことを思い出すことが適切である。石油汚染は恐らく慢性的性格を帯びたが、そのことは、産卵場の状態に現われ続けている。同時に、最近の撮影データによれば、動物相と植物相の状態は満足すべきものと見なすことができる。

##### サハリン西部の沿岸

サハリンの西南沿岸の潮間帯と亜潮間帯上手の動植物群は、生物群集に関するデータが欠けている西北のそれより相当多く研究されていると認められる。それに応じて、引用した予測は沿岸の南部地区に関するデータに基づいているから、慎重にやれば北部に適用されうる。タンカーによる輸送のさいの事故による石油流出に関する、提示された予測(9.2項)に従って判断すると、最も否定的な影響が発生するのは、タタール[間宮]海峡の南部とラペルーザ[宗谷]海峡での事故の場合である。これらの地区で石油が流出した場合、油汚れは高い確率程度でサハリン西南沿岸とモネロン島に達するが、諸事情が最も不利に重なる場合は、ブッセ潟を含めてアニーヴァ湾にも達する。

サハリン西南沿岸の浅瀬水域（潮間帯と亜潮間帯上手）は、海藻、昆布属やウニが優勢な多産性の生物群集に占められていることを考慮に入れるべきである。これらの動植物群での総バイオマスは  $7000 \text{ g/ m}^2$  に達しうる。餌の底生生物の損失は、 $50\sim 120 \text{ t/ km}^2$  の量に達しかねない。そのほか、この地区ではウニの漁獲が行われており、その採取量は年間200 tから1000 tまで様々である。ウニの分布の下方境界は10~13 mの等深線に沿って通っているが、採取資源の大部分は6 m以下の水深に集中している。サハリンの西南沿岸へ油汚れが流れてきた場合は、少なくとも数シーズンの間個体群の部分的な死と漁労の中止が発生する。まさにここには、採取用昆布属の大量の海藻資源がある。

モネロン島は、温水動物相のロシアとしてはユニークな特徴をもった自然対象であると、指摘しなければならない。ここには、ロシアの水域で唯一の腹足類の軟体動物 *Notohalotis discus* の個体群が棲息している。石油汚染を最も多く蒙った浅瀬水域には、ロシア連邦の赤書に記載された種 - 腹足類の軟体動物 *Tugali gigas* が棲息している。モネロン島には、ウニとナマコの漁獲用の群れがいる。

#### ストレスに対する優勢な（最重要な）種の反応

潮間帯の優勢な種は、潮間帯の大植物相である海藻 *Zostera spp.*、藻類 *Fucus vesiculosus* である。亜潮間帯上手には、褐藻類 *Laminaria spp.*、*Alaria spp.* と海藻 *Phyllospadix iwatensis* がいる。潮間帯の雑多性と関連して、はっきり際立った優勢な無脊椎動物は、その高いモザイク性と関連して潮間帯にはいない。亜潮間帯上手に通常いるのはグレイ・ウニ *Strongilocentrotus intermedius*、ナマコ *Cucumaria fraudatrix*、軟体動物 *Buccinidae*、*Acmaea pallida*、沿岸南部地区にいるのは浮遊多毛類食性の動物 *Bispira polymorpha*、大きな *Sabellidae* である。

魚類の優勢な（最重要な）種は、スケトウダラ、デカストリー・ニシン、サケ・マス、カレイ目の魚である。魚食猛禽（ウ、ハジロウミバト、ウミツバメ、カモメ）、移動種の鳥類（ハクチョウ、シギ）、それらの群体はモネロン島、ホルムスク、クリリオン岬その他の地区にいる。哺乳類の最重要種に属しうるのはトド（アニーヴァ湾ではワモンアザラシ）で、それらの小さい複数群体はホルムスク地区にいる。

激しいストレス：藻類と海草の優勢な種は生き残るが、しかし漁獲の意味を失う。棘皮動物、軟体動物 *Acmaea pallida*、ヤドカリ科動物、餌の甲殻類や浮遊多毛類食の動物は大部分死ぬ。軟体動物 *Buccinidae* は数が低減し、やはり一部は影響を経験する。石油流出地帯にいる魚卵と幼魚の死が起こる。夏期から秋期の事故による石油流出の場合に起こるのは、遡河魚（サケ・マス）の移動路の障害、索餌面積の縮小である。ありうるのは、海の哺乳類の一部の子の壊滅、渡り鳥の季節的な休息場と餌場の部分的な喪失である。

慢性的なストレス：動植物群の構成の再編。汚染に敏感な棘皮動物、軟体動物 *Acmaea*

と甲殻類が、浜螺族 (*Littorina* spp.)、広食性多毛類と有機堆積物食の動物 (*Nereidae*科, *Capitellidae*科) のような草食腹足類の安定した複数種にとって替わられる。沿岸地区と港湾に見合った魚 (ニシン、コマイ、サケ・マス) の地域的個体群の個々の年齢グループの来遊率が低下する。産卵効率が低下し、幼魚の索餌条件が悪化する。索餌基地の縮小による魚類製品の潜在的な喪失と産卵場の喪失が起こる。鳥類の移動の障害、営巣地区の縮小、海の哺乳類の数の低減が起こる。

#### 9.4.7.3 アニーヴァ湾

アニーヴァ湾では補助管理所が海岸線から 7 km の距離に配置される計画である。チハチョーフ湾とはちがって、アニーヴァ湾の水域はオープンだから、補助管理所での事故による石油流出の場合とタンカー輸送のとき発生する事故の場合は、結果として海岸の相当な地区での沿岸浅瀬地帯の壊滅がありうる。西の方角の風があるときは、ブッセ潟へ流出石油が押し流されることが大いにありうる。

アニーヴァ湾とブッセ潟がグレイ・ウニ、ホタテガイ、ナマコ、ミドリエビのような貴重な漁獲種類の無脊椎動物の棲息と繁殖、漁獲の地帯であることに注意を喚起しなければならない。

アニーヴァ湾—これは、昆布属の海藻の主要な採取地区の一つで、ブッセ潟には、イタニグサ属の紅天草藻類の極東にある 3 つの採取場の一つがある。棘皮動物と紅藻類は、石油汚染にとくに敏感な漁業対象であると指摘しなければならない。洗剤の使用は、事故による石油流出の諸結果を除去するとき、事故状況の否定的な諸結果を倍化するだけで、当水域では亜潮間帯の漁獲種も壊滅が判明するだろう。従ってアニーヴァ湾での事故による石油流出は、漁業の点でこの重要な水域の漁獲潜在力を激減させ、あるいは破壊さえしかねない。

様々な優勢な種と、激しい慢性的なストレスの影響はサハリン西南沿岸にとってと同じである。

#### 9.4.8 漁業での諸結果

海へ石油が流出したあとの魚類の大量死と、魚類資源の低減の直接的な証拠がないことに関する上述した様々な事実は、それらの石油流出が漁労に対しまた全体として海洋漁業部門に対して、否定的な影響を及ぼさないことを決して意味していない。このテーマでとくに取り上げた研究を含めて、多くの研究 (パーチン, 1997 年、Neff, 1993 年、Dipper, Chua, 1997 年、Law, Kelly, 1999 年、Moller その他, 1999 年、Wiens その他, 1999 年) は、この場合漁業に対する実際の損失と損害が下記の結果発生することを示している :

- 石油流出の時とそのあとの沿岸漁労の中止 ;

- 環境の質の悪化、海洋生物を養殖するための条件の悪化；
- 漁労対象物と海中養殖対象物の商品としての質の喪失；
- 漁具の石油汚染。

漁業にとっての最も重大な経済的損害は、石油流出による沿岸水域の打撃の時期に、漁労に対する規制によって生ずる。そうした損失の性格と厳しさは、極めて様々な事情 - 石油流出の規模、季節、天候条件などの具体的な重なり次第で強く変わりうる。若干の場合には地方の漁業にとっての損害は、強い石油汚染で漁ができないことへの補償の形で合計数百万ドルと見積られる（パーチン、1997年）。海洋養殖漁業にとっての甚大な損失の実例は、イギリス海岸で1993年と1997年に起こった石油流出のときそうだったように、周知のところである。あのときは、沿岸地帯での魚類と無脊椎動物の養殖関係の多くの水産企業が被害を受けた（Law, Kelly, 1999年）。

余り掌握されていないが、相当広く広まった他の石油汚染による漁業の損害は、漁獲生物への石油炭化水素（とくに軽芳香属化合物）の蓄積と関連がある。通常このことは水中生物に中毒症をもたらさないが、しかしそれらに石油の臭いと風味の現われを来たし、そのことは当然、海産物の商品の質の損失とそれに見合った経済的な損害を意味している。海洋生物の石油汚染を五感で検査したときの特徴が現われる諸条件は、全く変わり易くてこれまで余り研究されていない。しかしこれらの特徴は、魚類やとくに無脊椎動物が水面上あるいは海底の海水層で油膜と短期間接触したときでさえ、現われうることは周知のところである。同じような影響は、石油の含有量が比較的に低いレベル（0.01~1.0 mg/l）の海水環境に各種の生物がいたあとにも起こる。

#### 9.4.9 影響評価に関する結論

海での石油流出の影響は、流出した石油の量、流出の局地化、天候条件や首尾よい対応措置如何によって、微量から少量まで可逆的なことが予想される。海岸線への石油の到達をもたらす流出は通常、海岸線のタイプ、季節、天候、油汚れの規模と対応措置の好結果達成率如何によって、各種のより強い影響をとまなう。

陸封水域の表面への影響を除いて、陸上での石油流出は陸上の植物界と動物界への影響が小さい。流出した石油の大部分は回収されうるし、土地は再肥沃化されている。地上の哺乳類と鳥類が流出石油との直接的な接触の結果死ぬのは稀で、さらに彼らは目視や嗅覚で流出石油に気づいて、従って石油との接触を予防することができる。河川や港湾への石油流出の影響は、海岸線への影響と同様に特徴づけることができる。つまり影響は、季節、天候、石油流出の規模や対応措置の好結果達成率如何によって、少量なものから激甚なも

のまで可逆的である。

元々の諸条件までの回復は数年間で起こる。こうした考え方の重要な例外に含まれているのは—(a) 鳥類の群体あるいは集中地の近くでの石油流出、(b) 海獣の群棲地あるいは保護動物の群集地の近くでの石油流出、(c) 氷が消えて間もなくあるいは春に、つまりサケ・マスが回遊し、稚魚が出現するときにおける漁業河川への石油の流出。

そうした影響の重要性は、対応行動を全面的に計画する必要性と、プロジェクトに参加している従事者あるいは石油輸出を行っている従事者のすべてが、石油流出を予防する必要を広く認識する必要性を喚起している。

## 第9章 付属書No.1

プロジェクト「サハリン-1」—事故による流出石油一掃の組織的計画  
標準的な目次

## 第1章 序文

- 1.1 計画の目的と課題
- 1.2 プロジェクトの説明
- 1.3 事故による流出石油一掃への“エクソン・オイルガス㈱”のアプローチ
- 1.4 事故による流出石油一掃の全般的戦略
- 1.5 環境保護に対する“エクソン・オイルガス㈱”の諸要求
- 1.6 事故による流出石油一掃への多レベル的アプローチ
- 1.7 石油の特質と石油の潜在的な流出の規模
- 1.8 補償と損害回復の主要な諸原則

## 第2章 事故による流出石油一掃の緊急措置と通報手続

- 2.1 事故による流出石油一掃の緊急措置採択の手続と通報手続  
(オルラン、“チャイヴォ” / “ホブト” 沿岸監視所、デカストリー、ノグリキ、ユージノ・サハリンスク)
- 2.2 事故による流出石油一掃の緊急措置
- 2.3 諸監視機関の通報と情報提供の手続

## 第3章 事故による流出石油一掃組織の組織構成と機能

- 3.1 説明
- 3.2 事故による流出石油一掃組織の組織図
- 3.3 レベル2とレベル3での義務と責任
- 3.4 レベル2とレベル3への移行
- 3.5 事故に関する報告書式

## 第4章 石油流出の監視と追跡

- 4.1 レベル1の石油流出
- 4.2 レベル2とレベル3の石油流出
  - 4.2.1 目視の監視
  - 4.2.2 数学的なシミュレーション
  - 4.2.3 遠隔測定

## 第5章 事故による流出石油一掃の諸措置

- 5.1 海上での事故による流出石油一掃の諸方式
- 5.2 流出石油除去の機械化した諸方式
- 5.3 各種分散剤の使用
  - 5.3.1 自然の分散
  - 5.3.2 各種薬剤による分散

- 8.1.10 個人衛生/公衆衛生/生活
- 8.1.11 消毒
- 8.1.12 廃棄物の取扱い、廃棄物の輸送と除去
- 8.1.13 安全（施設の）技術計画
- 8.2 飛行船の外部からの貨物輸送とヘリコプタによる空輸
  - 8.2.1 安全技術計画
  - 8.2.2 外部からの貨物輸送用のヘリコプタの選定
  - 8.2.3 乗員らへの諸要求
  - 8.2.4 従業員の養成場所と義務
  - 8.2.5 燃料の規準
  - 8.2.6 ヘリコプタの保守

## 第9章 廃棄物の取扱いマニュアル

- 9.1 序文
- 9.2 廃棄物の種類
- 9.3 廃棄物の区分と廃棄物生産の最小化
- 9.4 液体廃棄物の利用種類
  - 9.4.1 採取した石油の分離処理
  - 9.4.2 石油を含む水の除去
  - 9.4.3 石油を含んでいない排水の除去
- 9.5 固体廃棄物の利用種類
  - 9.5.1 石油を含む固体廃棄物の利用
  - 9.5.2 石油を含んでいない固体廃棄物の利用種類
- 9.6 特殊廃棄物の利用種類
- 9.7 廃棄物の回収と保管
  - 9.7.1 採取した石油と水・石油混合物
  - 9.7.2 その他の石油を含む廃棄物
  - 9.7.3 石油を含む水
  - 9.7.4 石油を含んでいない液体廃棄物
  - 9.7.5 固体廃棄物
  - 9.7.6 特殊な廃棄物
- 9.8 地方の資源と対象物
- 9.9 規準の規定と必要な各種許可証

## 第10章 通信機器の規準

- 10.1 序文
- 10.2 “事故”のコマンド
- 10.3 通信ユニット
- 10.4 外部通信機器
- 10.5 通信システムの創設
- 10.6 通信システムの設備
  - 10.6.1 オルラン
  - 10.6.2 チャイヴォ
  - 10.6.3 オドプト

## 第6巻 第9章

## 石油流出の影響評価

- 10.6.4 デカストリー
- 10.6.5 ユージノ・サハリンスクの事務所
- 10.6.6 ノグリキ
- 10.6.7 ありうる資源
- 10.6.8 国際的資源
- 10.6.9 エクソン社の設備からの応答信号の送信
- 10.7 文献

## 第11章 未開な自然の保護規準

- 11.1 基本的な諸規準
- 11.2 安全技術の規準
- 11.3 表面への石油流出の最小化
- 11.4 処罰
- 11.5 未開な自然の保護
- 11.6 各種監視機関との行動調整

## 第12章 物質的・技術的保障の規準

- 12.1 序文
- 12.2 野天作業の保障
  - 12.2.1 先進的な諸施設
  - 12.2.2 サイトの準備作業の保障
- 12.3 長期の物質的・技術的な保障
  - 12.3.1 関税の諸問題
  - 12.3.2 レベル2とレベル3の事故による流出石油一掃用設備の探求と購入
  - 12.3.3 物質的保障の管理
  - 12.3.4 設備の組立と保守
  - 12.3.5 各種の施設
  - 12.3.6 輸送
  - 12.3.7 ストック
  - 12.3.8 殺菌/消毒作業

## 第13章 研修と訓練の規準

- 13.1 研修と訓練

付属書

## 付属書A 事故による流出石油一掃の戦略

- A.1 各種分散剤
  - A.1.1 概観
  - A.1.2 サハリン島地区での各種分散剤使用のありうる複数の種類
  - A.1.3 各種の法的規準文書の諸規定
  - A.1.4 結論
  - A.1.5 分散剤使用に関する“証書”の提示

## 第6巻 第9章

## 石油流出の影響評価

## A.2 現場での石油の焼却

## A.2.1 概観

## A.2.2 各種の法的規準文書の規準

## A.2.3 結論

## A.2.4 現場での石油の焼却に関する“証書”の提示

## A.3 流出石油の機械化した除去方式

## A.3.1 序文

## A.3.2 当方式の輪郭

## A.3.3 当方式の構成要素

## A.3.4 固定式の作業方式と作業量の指標

## A.3.5 移動式の作業方式と作業量の指標

## A.4 沿岸の石油汚染の浄化

## A.4.1 海岸線のタイプ

## A.4.2 海岸浄化の各種方式

## 附属書 B 事故による流出石油一掃にさいしての環境リスクの管理計画

## 附属書 C 報告書の書式

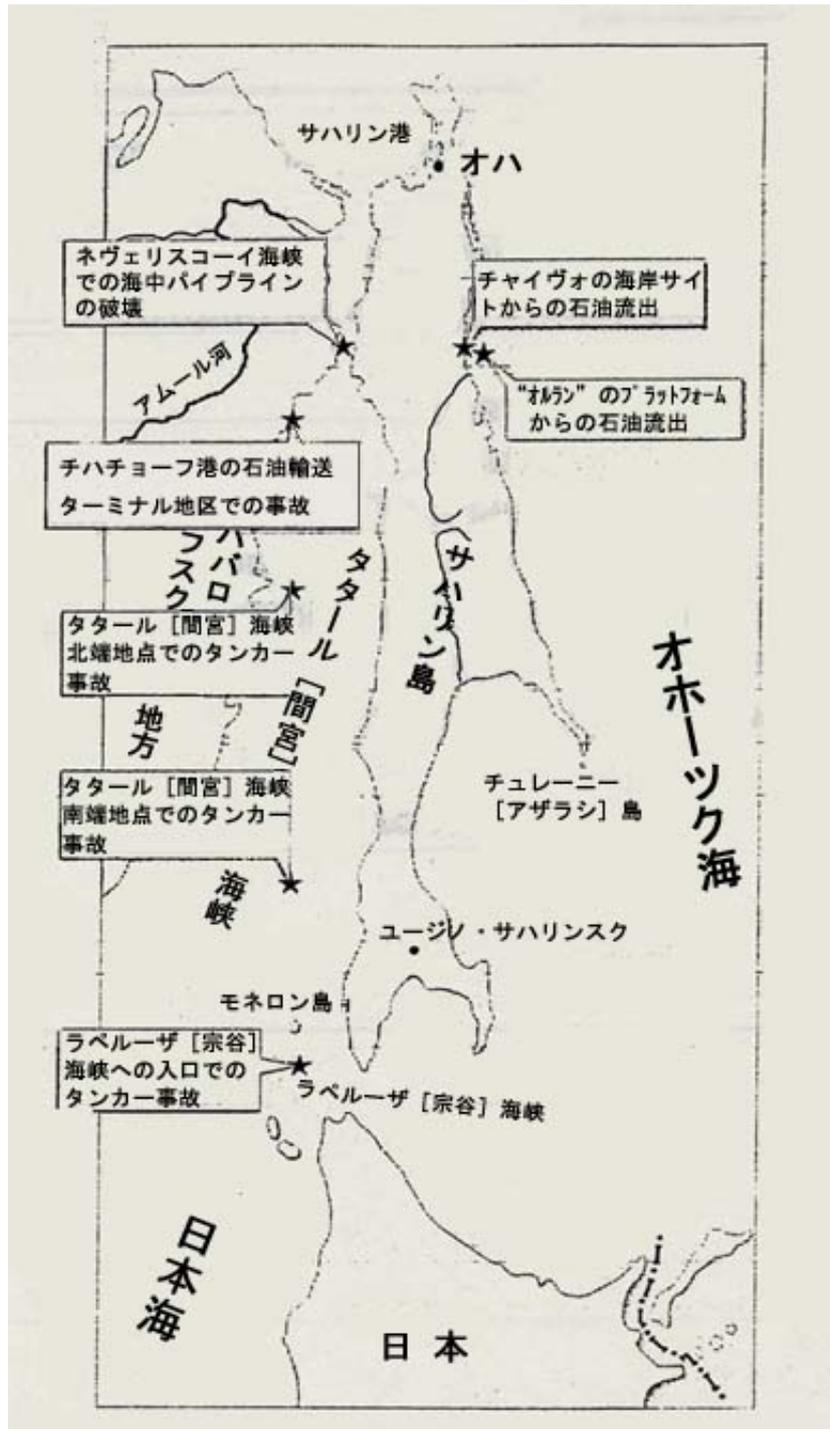


図 9.2.1.1-1 : 潜在的な石油流出源の配置図

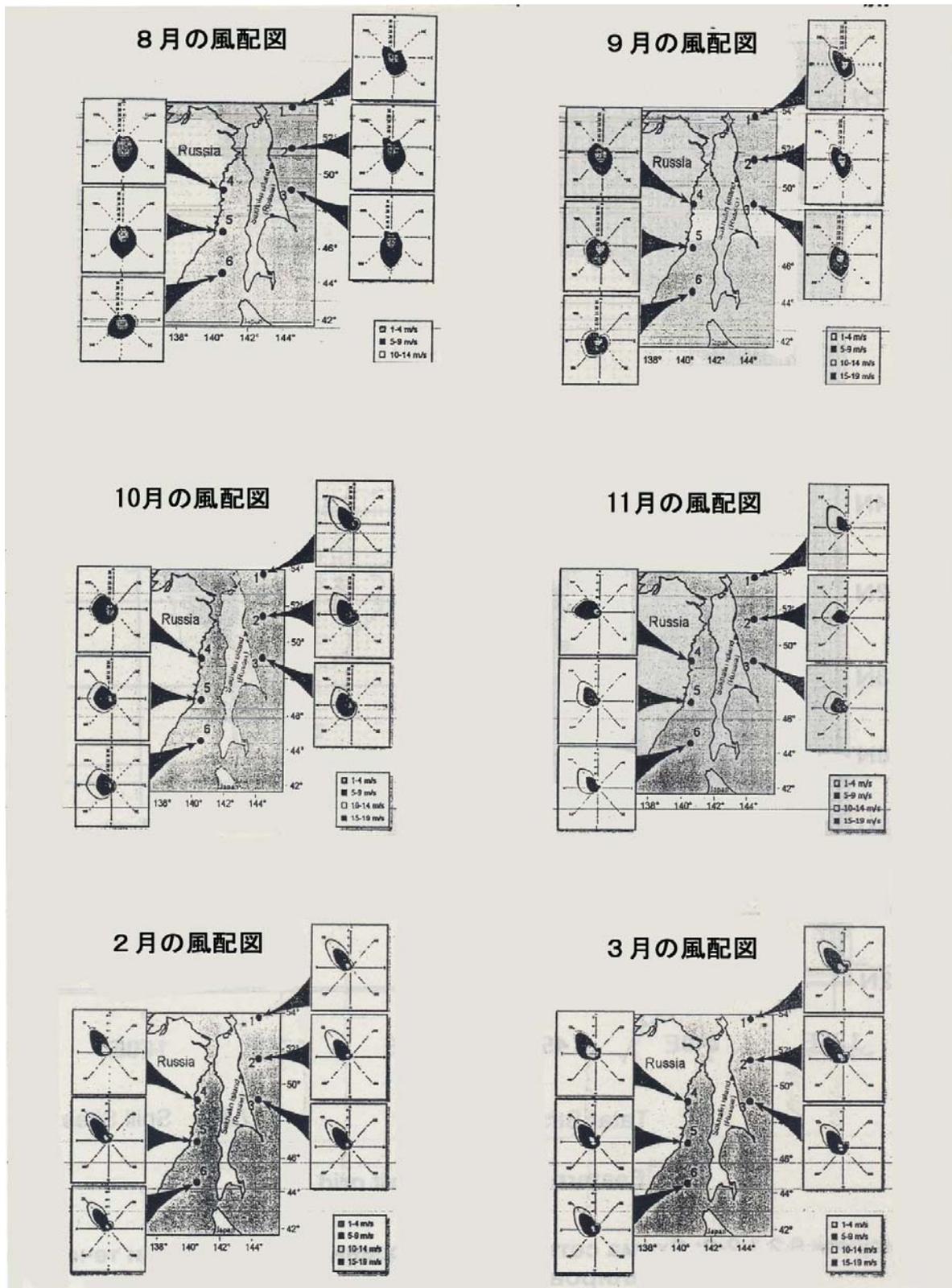


図 9.2.1.2-1 : 予測月の風の移動方向を特徴づける、風の反復性線図

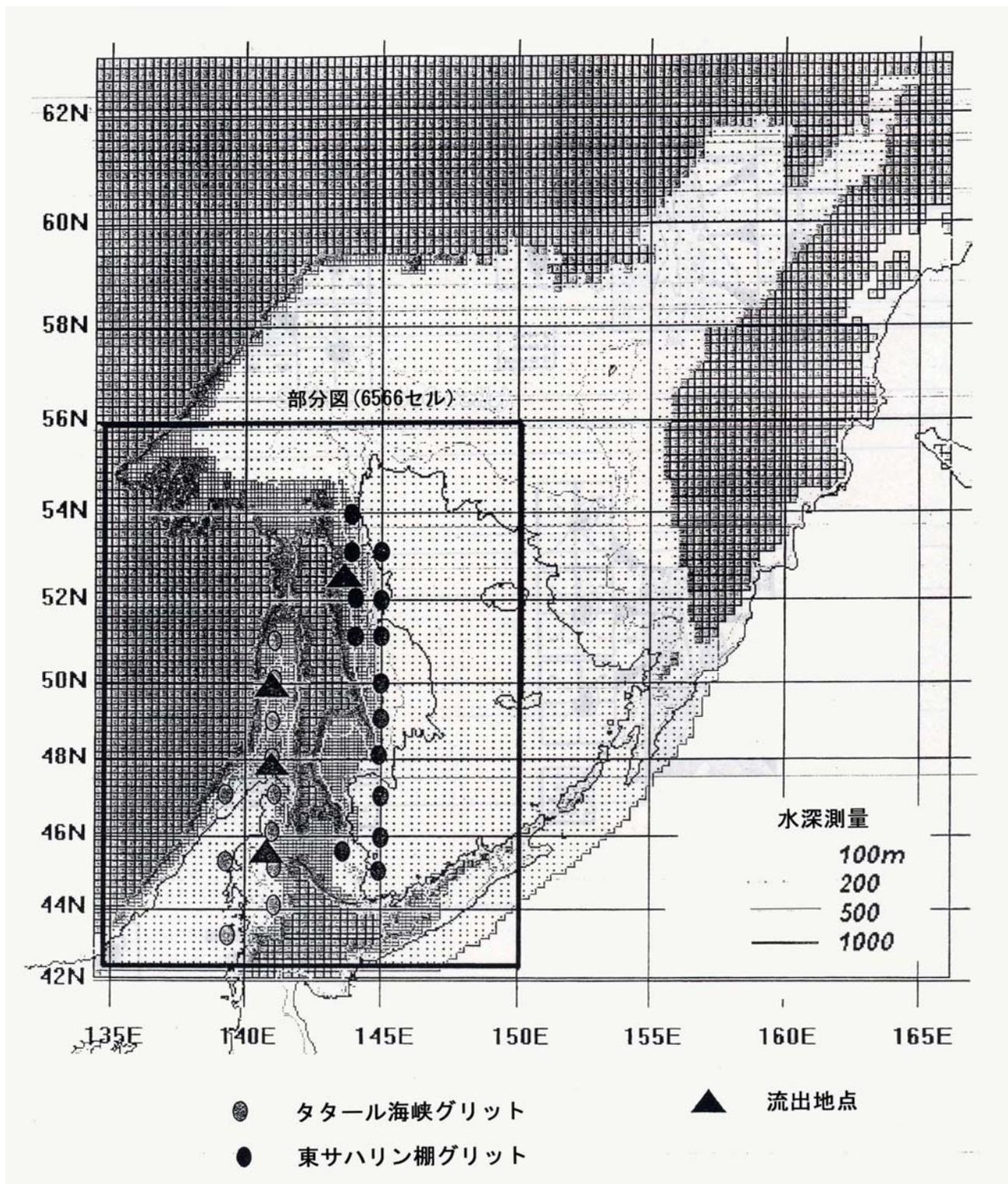


図 9.2.1.2-2 : プログラム「オイルマップ」によるシミュレーションの際の風域及び海流域の作図方眼図

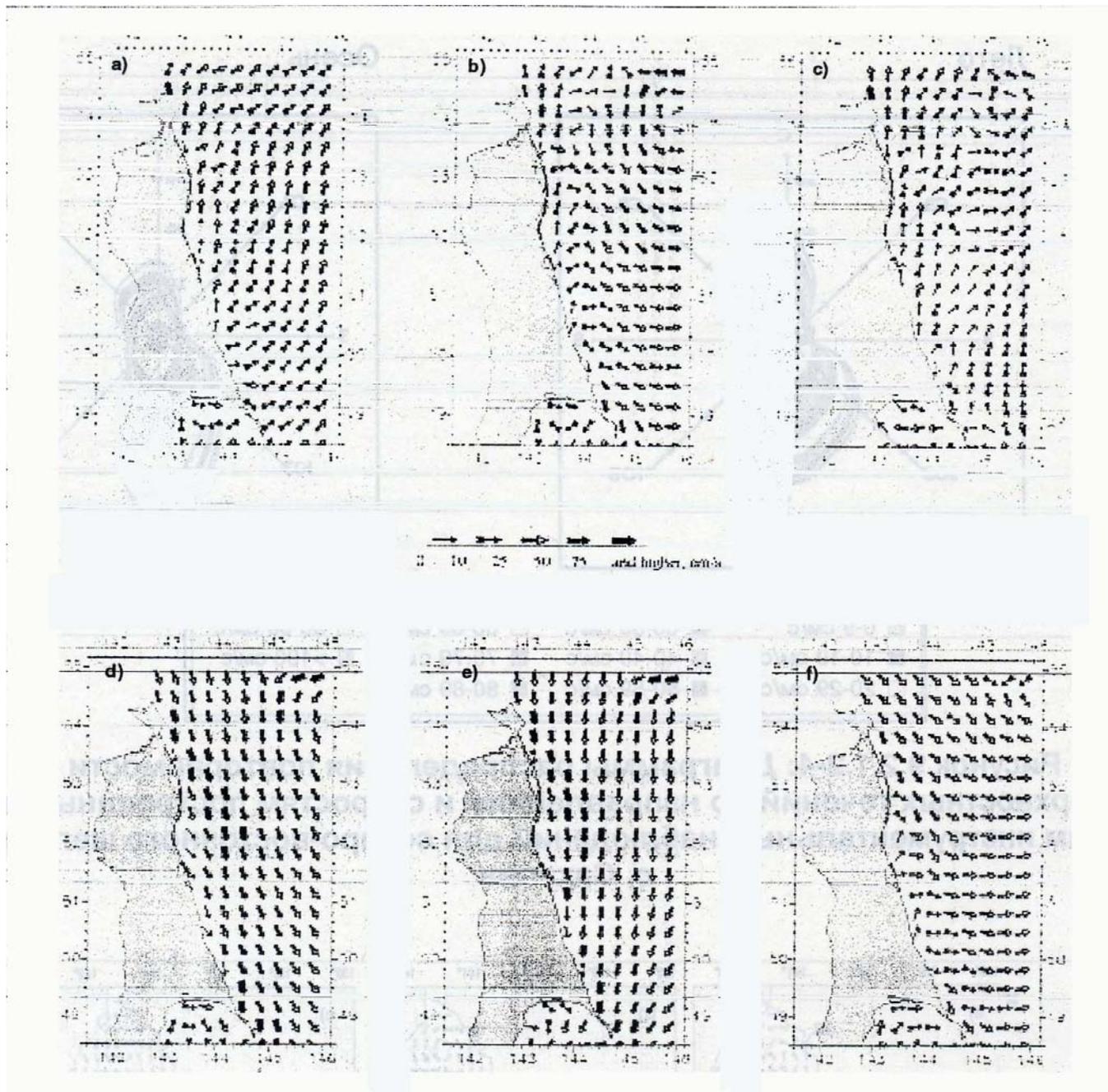


図 9.2.1.2-3 : 表面海流の標準図 :

夏 (4m/sec 以上) (a)南風、(b)西南の風、東風の風、(c)東風  
 秋 (4m/sec 以上) (d)西風、(e)、(f)北風西南の風

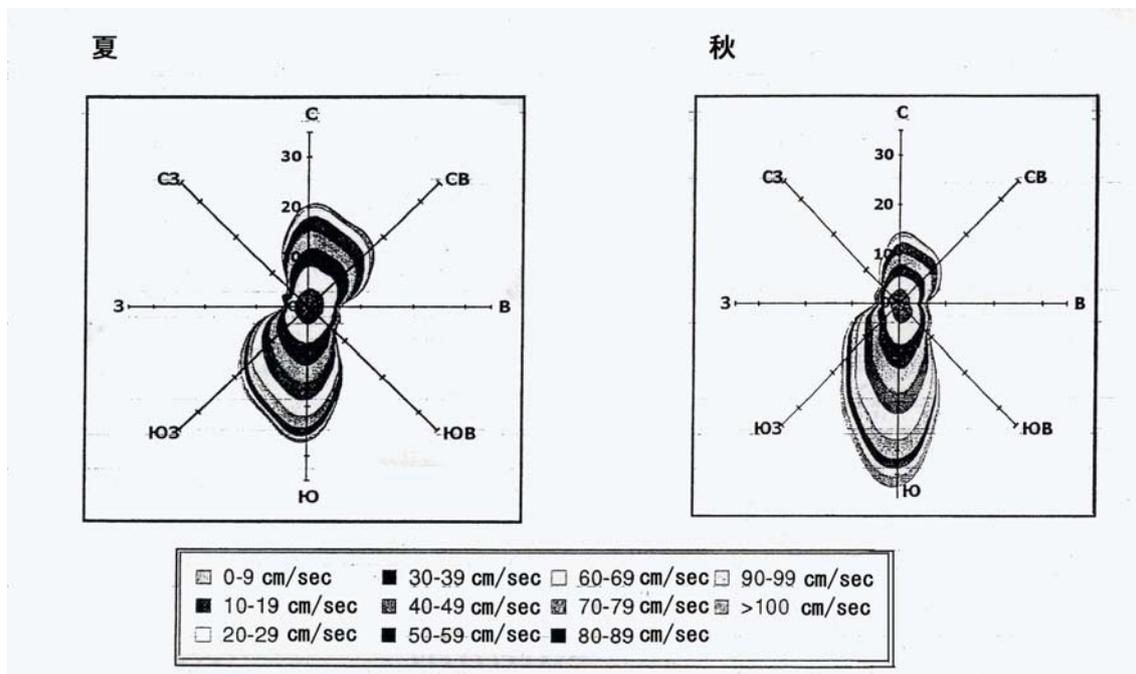


図 9.2.1.2-4 : 一連の計器観測で作図したサハリン島東北の大陸棚用における表面海流の方向と速度に関する反復性分布の線図

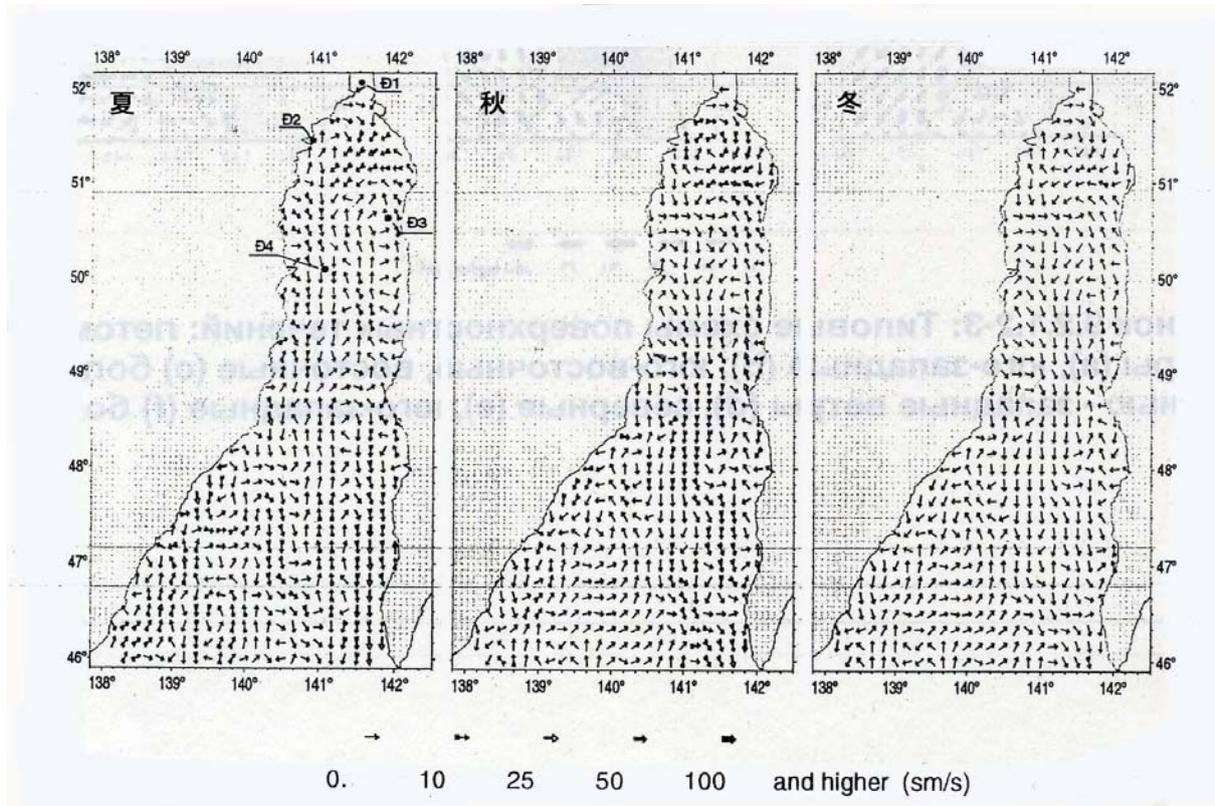


図 9.2.1.2-5 : タートル [間宮] 海峡の季節的の表面海流の標準図 : P1~P4 の地点で表示したのは、一連の海流検査計器の場所



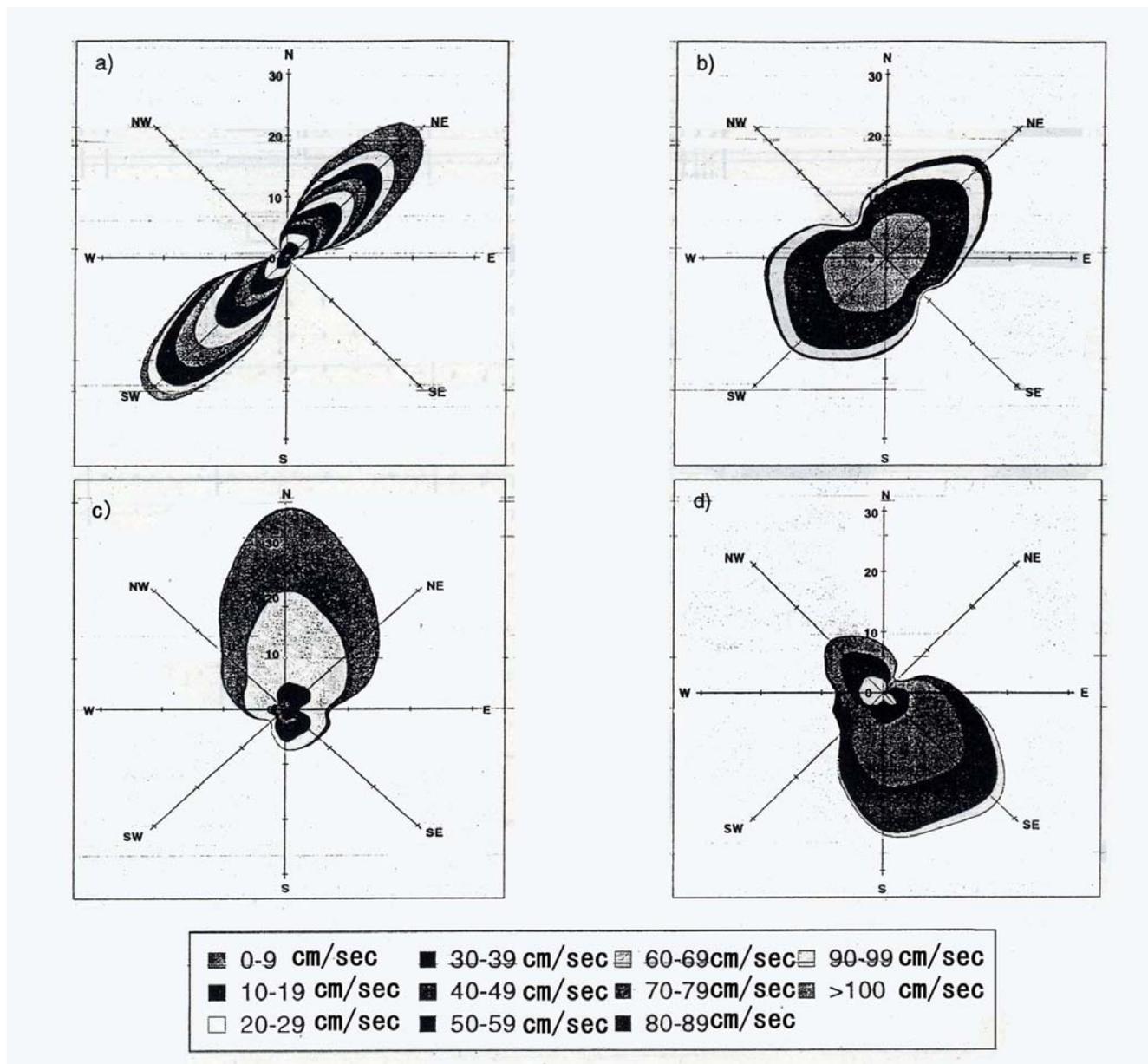


図 9.2.1.2-6 : (図 9.2.1.2-5 a) で表示した夏季の複数地点用における表面海流の方向と速度に関する反復性分布の線図 :

- a) は P1 地点 (ネヴェリスコーイ海峡)
  - b) は P2 地点 (チハチョーフ海峡)
  - c) は P3 地点 (サハリン西部沿岸)
  - d) は P4 地点 (大陸の東部沿岸)
- それぞれ一連の計器データで測定して作図した線図

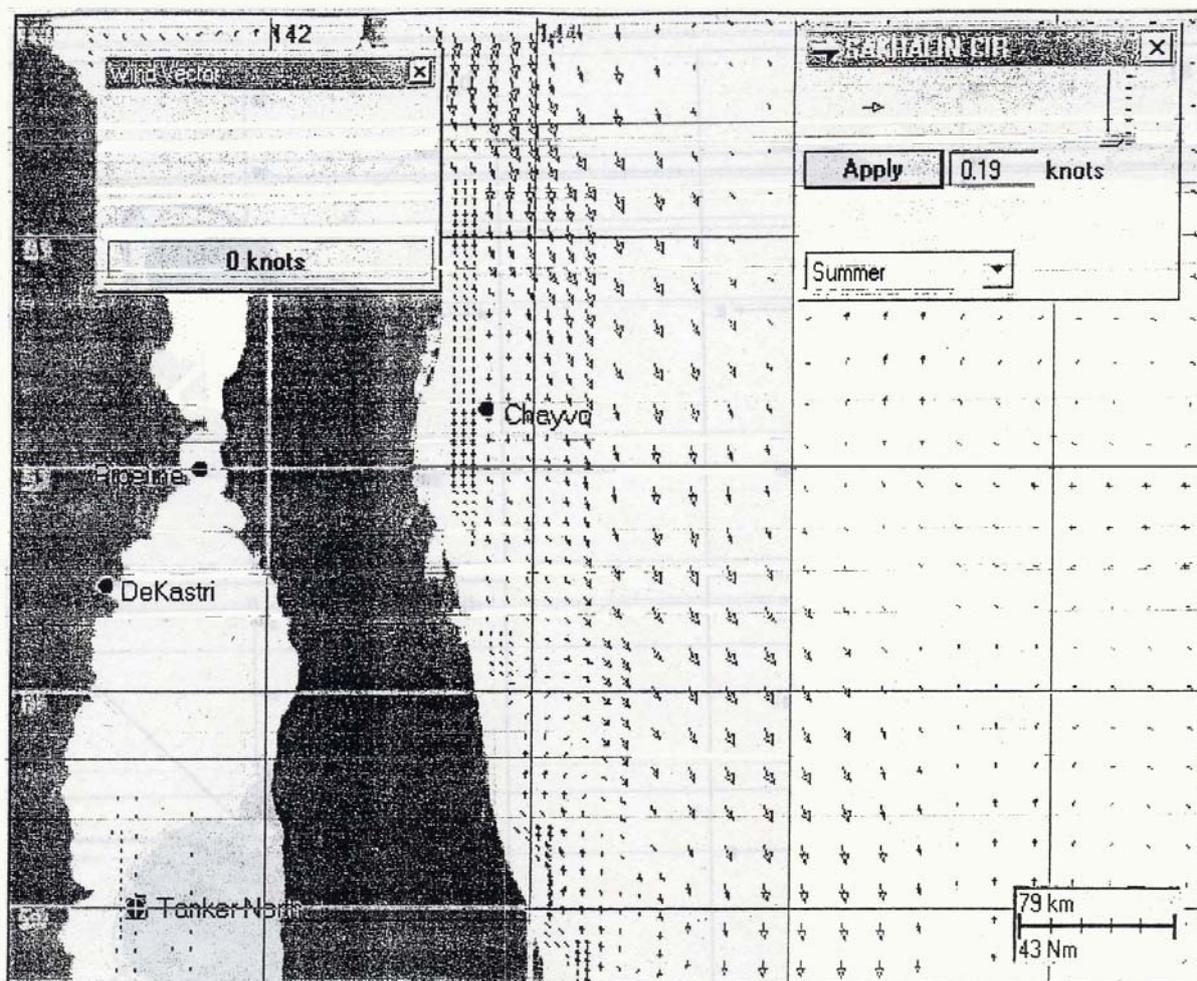


図 9.2.1.2-7 : 夏季の“オルラン”プラットフォーム周辺水域における  
海流の方眼（グリット）記入と計算例

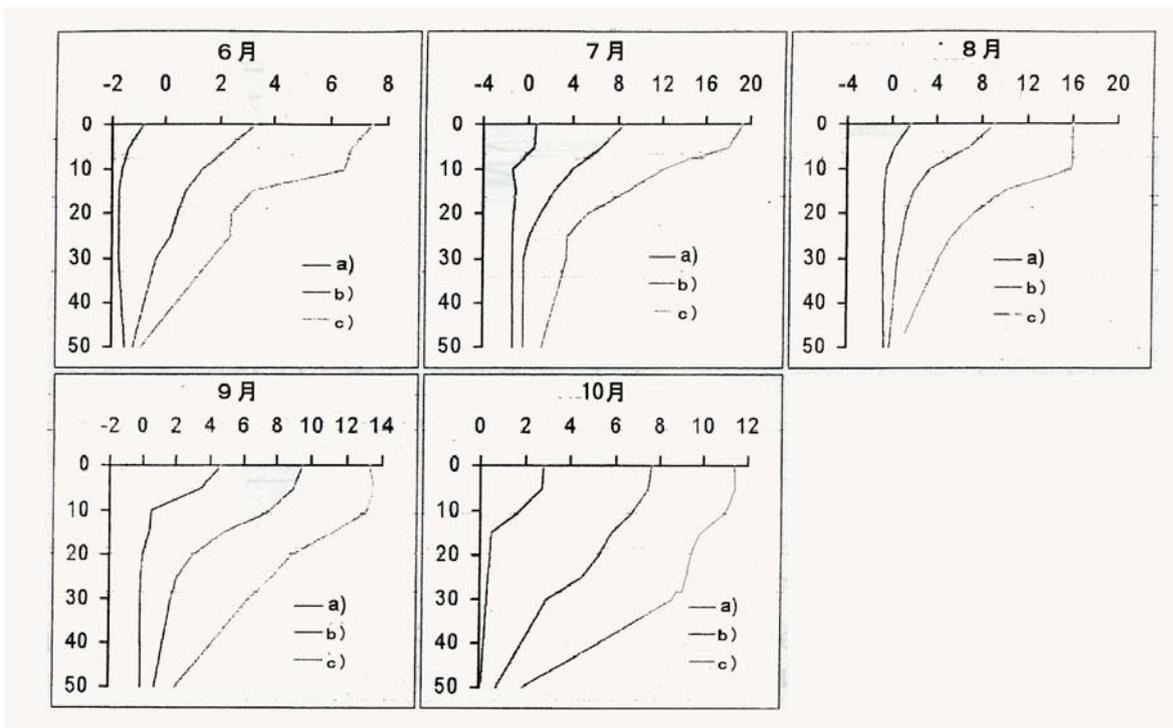


図 9.2.1.2-8 : サハリン島大陸棚の演習場での月別水温 (°C) の縦分布  
(a は最小値、b は平均値、c は最大値)

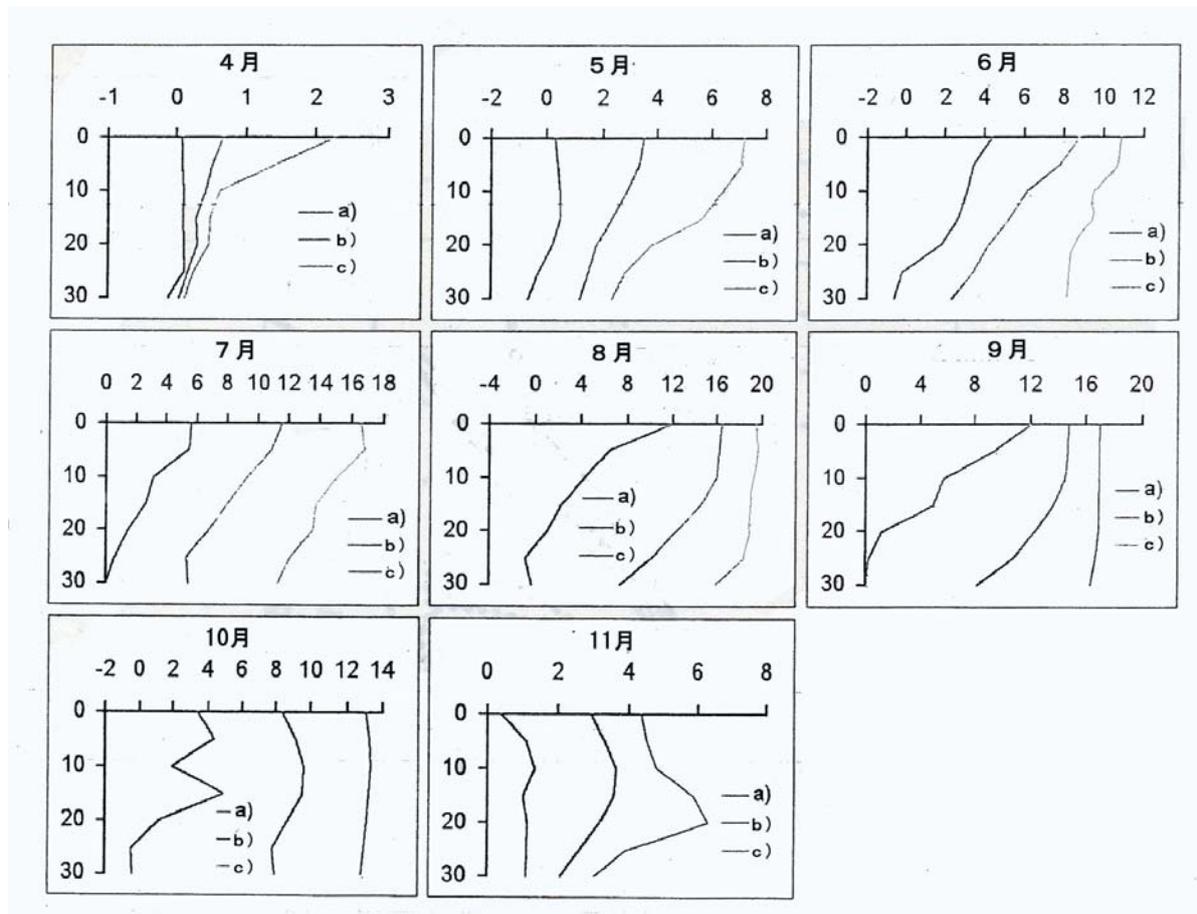


図 9.2.1.2-9 : タタール [間宮] 海峡での月別水温 (°C) の縦分布

(aは最小値、bは平均値、cは最大値)

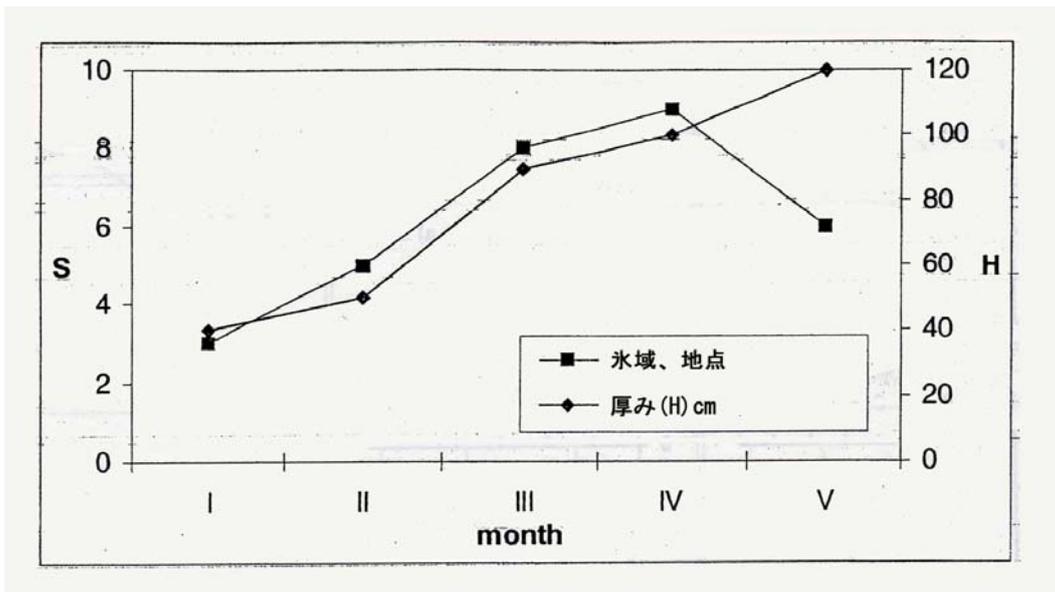


図 9.2.1.2-10 : サハリン島大陸棚東北での結氷季節における流氷の厚みと凝結力の月平均値の変動

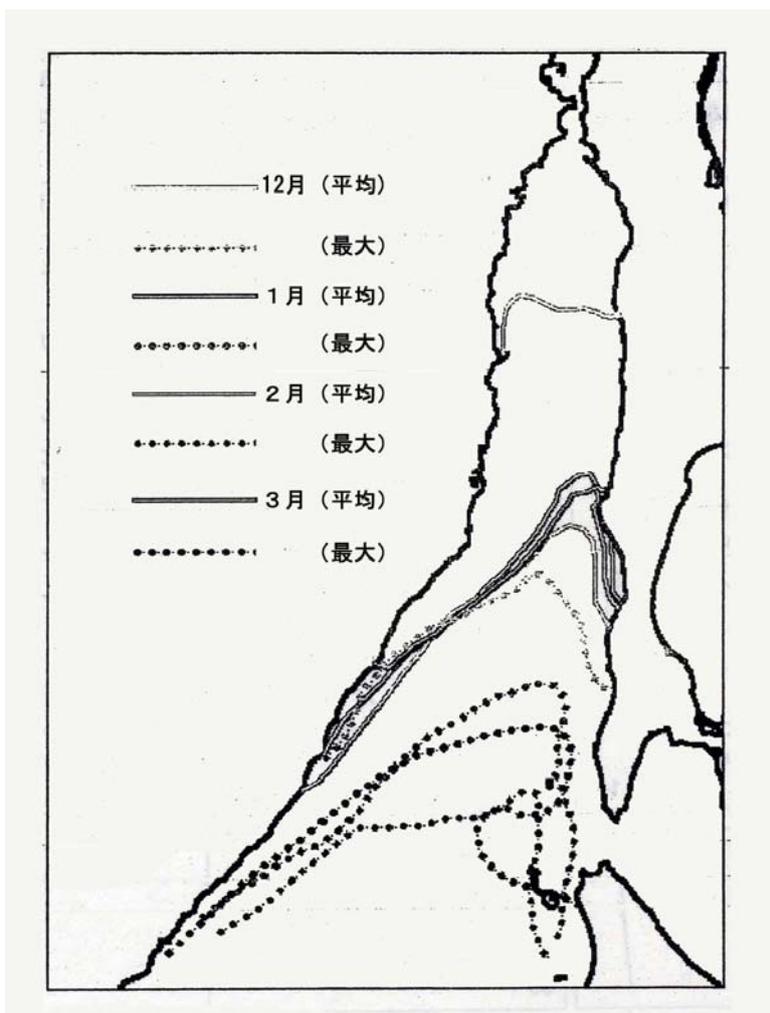


図 9.2.1.2-11 : 12月中旬～3月におけるタートル [間宮] 海峡での氷縁の平均(avr.)と最大(max)位置

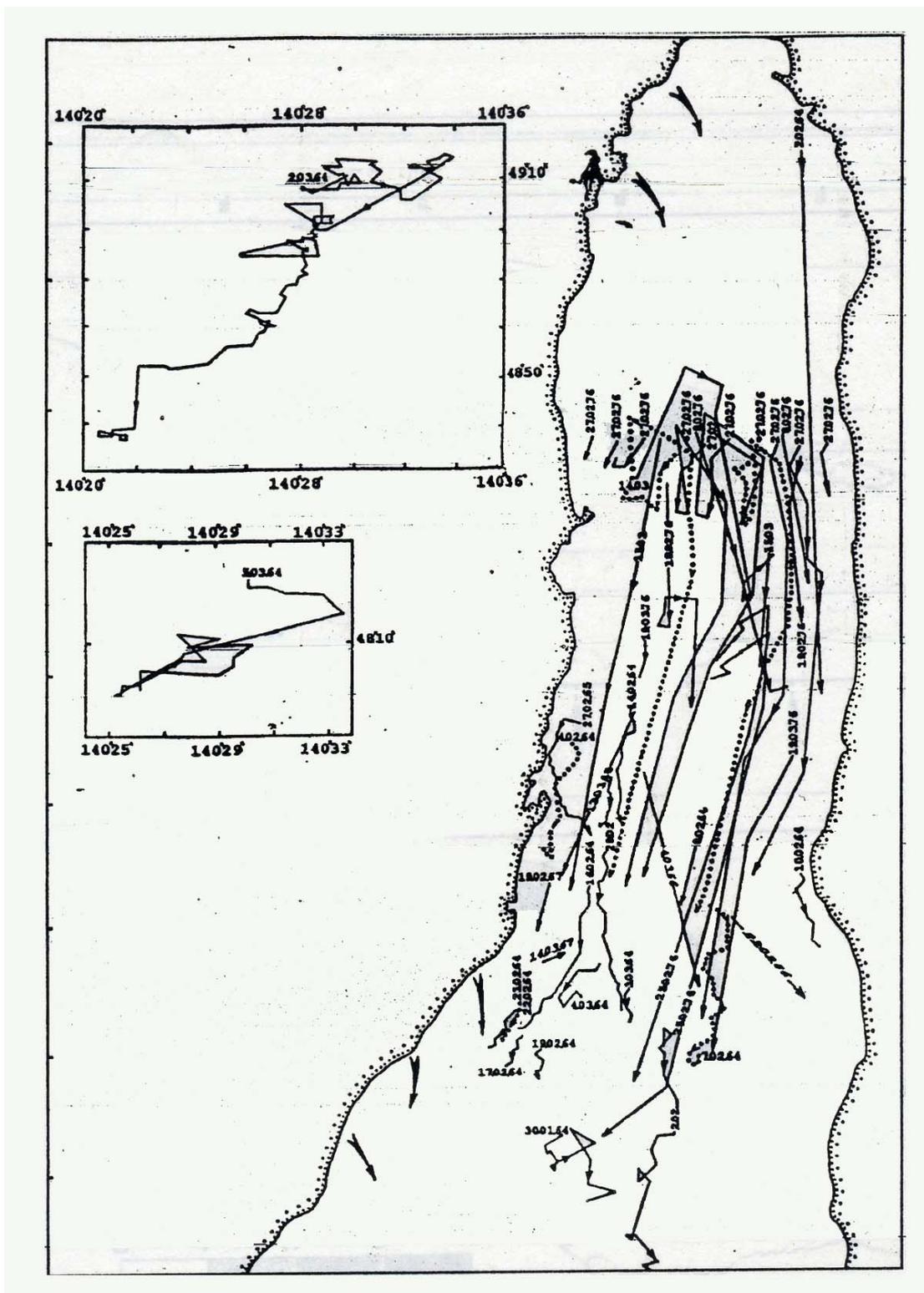


図 9.2.1.2-12 : タタール [間宮] 海峡での氷の漂流図

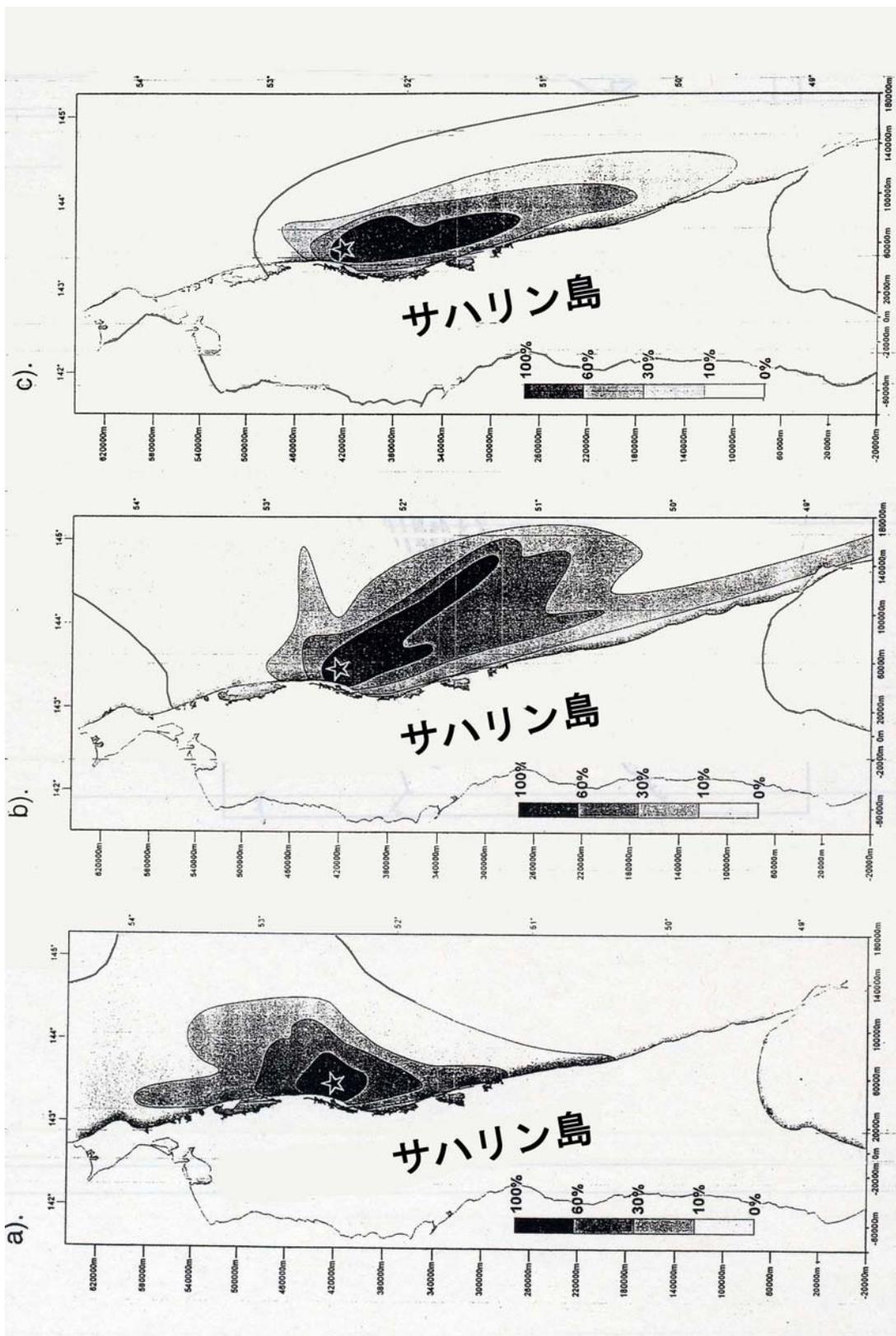


図 9.2.2.2-1:「オルラン」プラットフォームからの石油流出が始まったあと  
 30 昼夜間のシミュレーションに際し、油汚染水がある確率の地帯。

(a) 8～9月、 (b) 10～11月、 (c) 2～3月

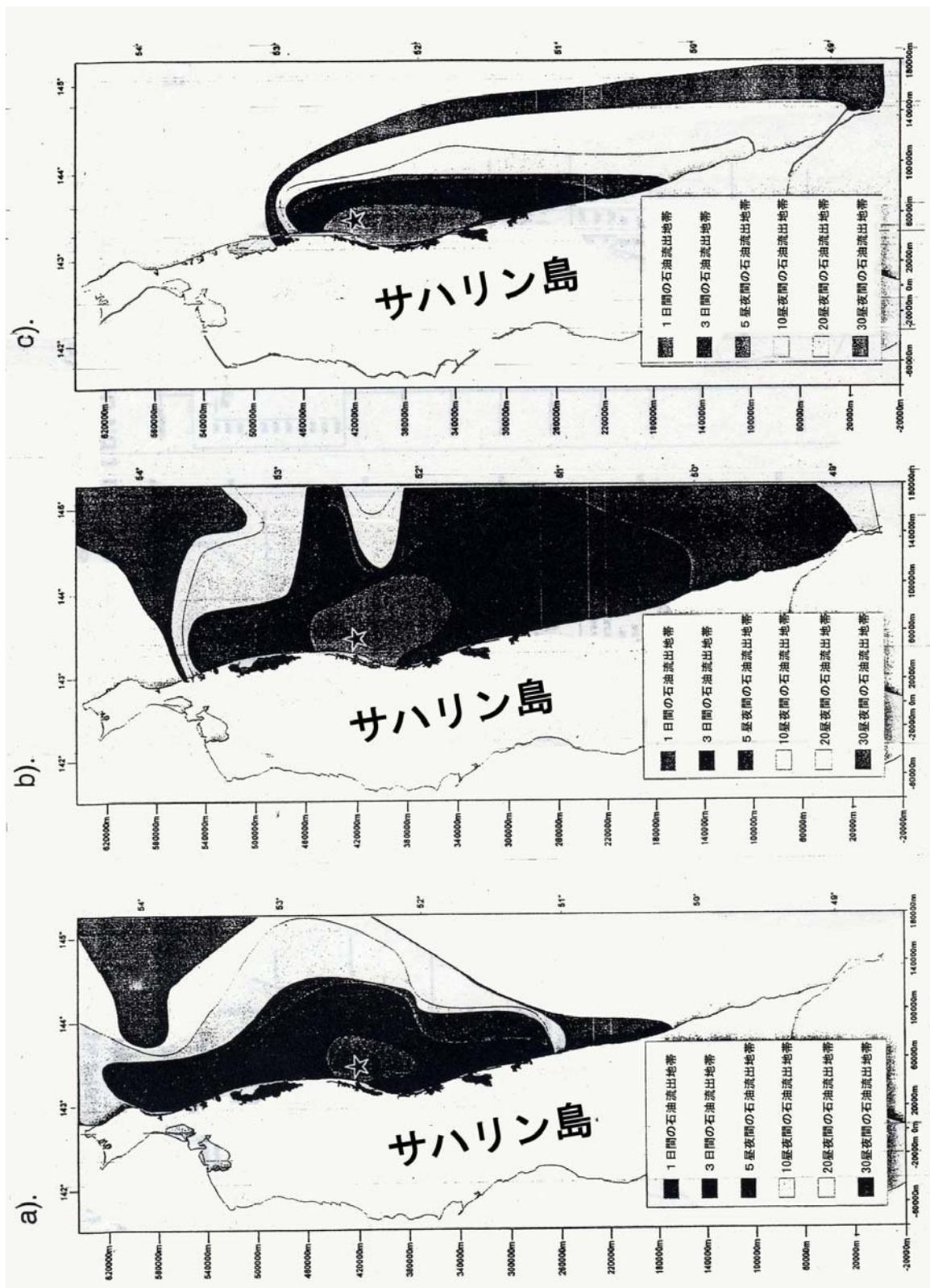


図 9.2.2.2-2 : 「オルラン」プラットフォームからの石油流出の際、石油汚染の移動が潜在的にありうる地帯。  
石油流出の始まりから 1,3,5,10,20,30 昼夜後。

a) 8～9月      b) 10～11月      c) 2～3月

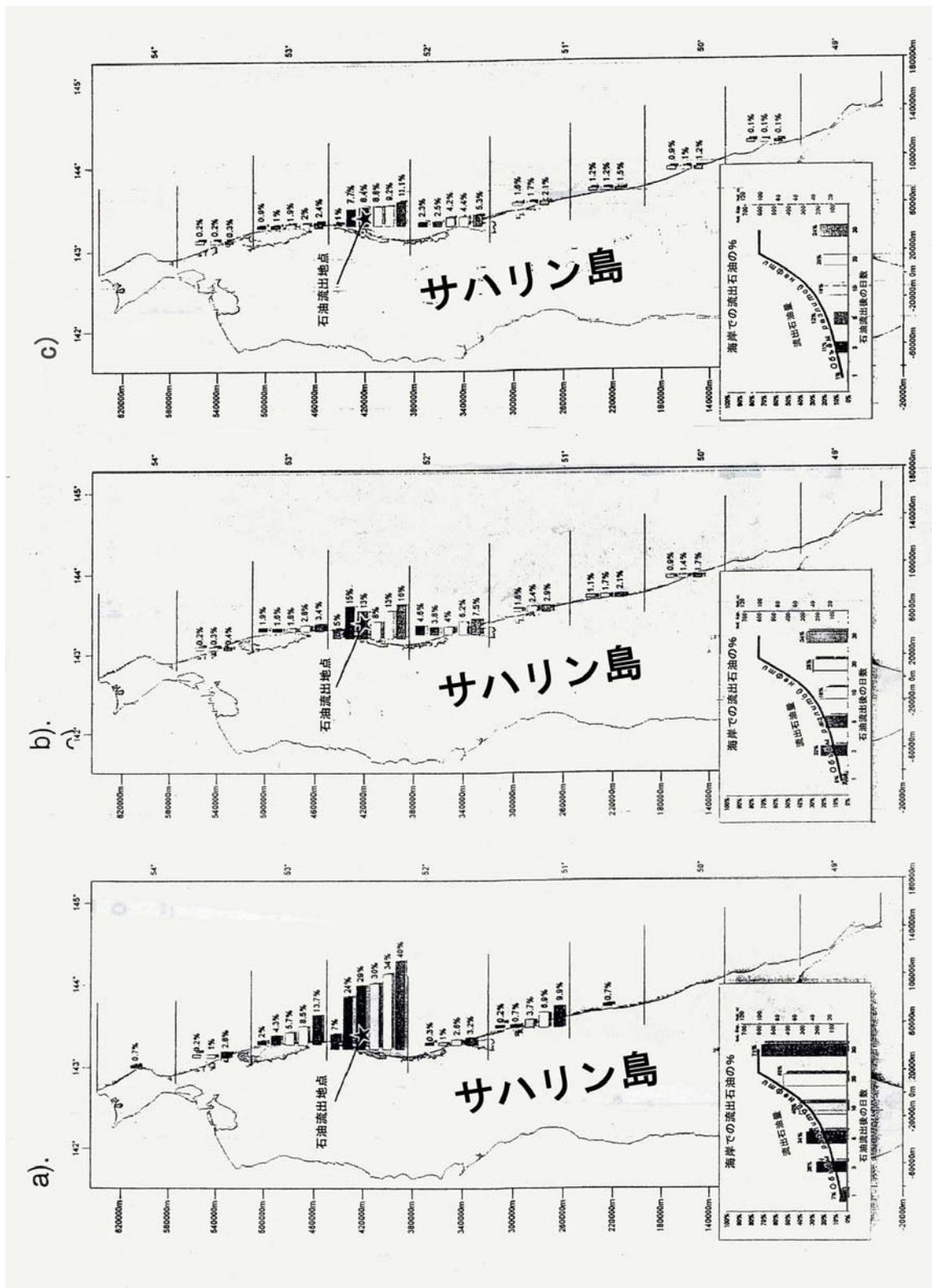


図 9.2.2.2-3 : 「オルラン」プラットフォームからの石油流出の可能性がある場合、  
海岸へ石油汚染物が押し寄せるパーセンテージ

a) 8~9月      b) 10~11月      c) 2~3月

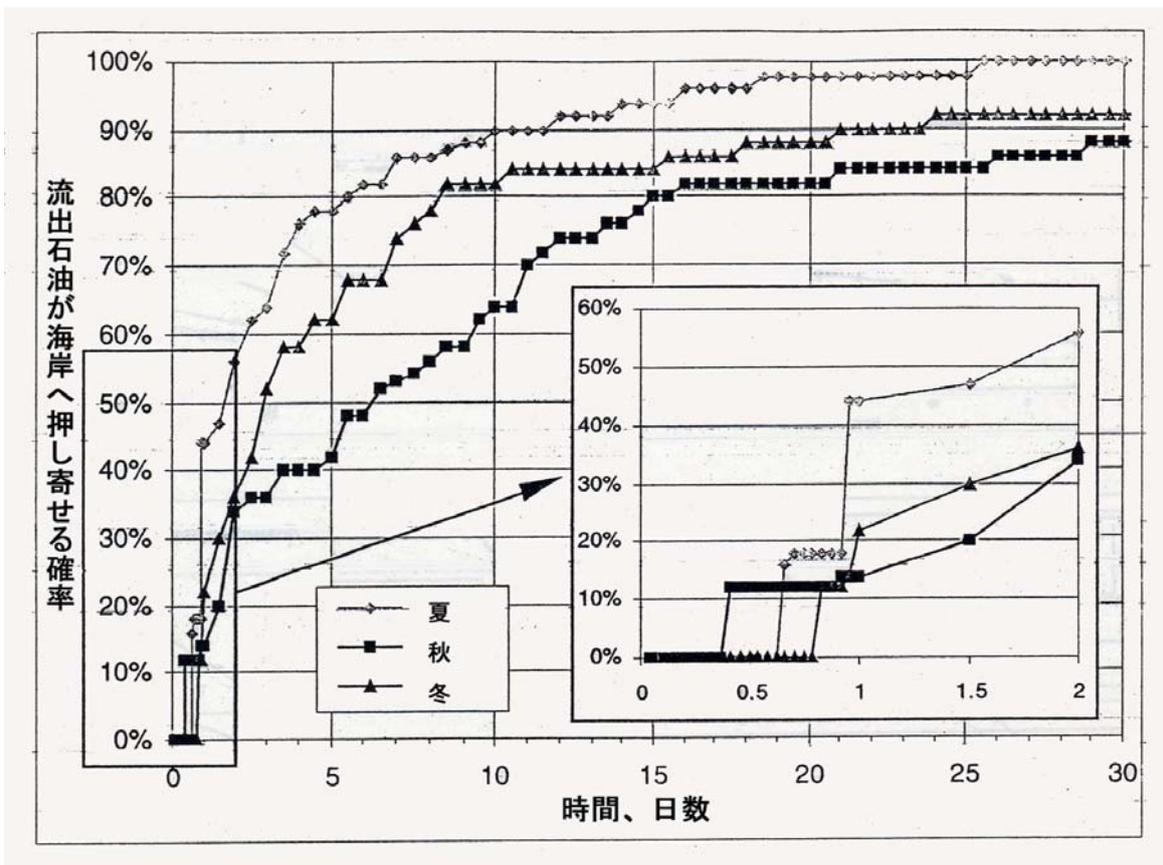


図 9.2.2.2-4 : 「オルラン」プラットフォームから石油流出する可能性がある場合、30 昼夜間に海岸へ石油が押し寄せる平均的な確率

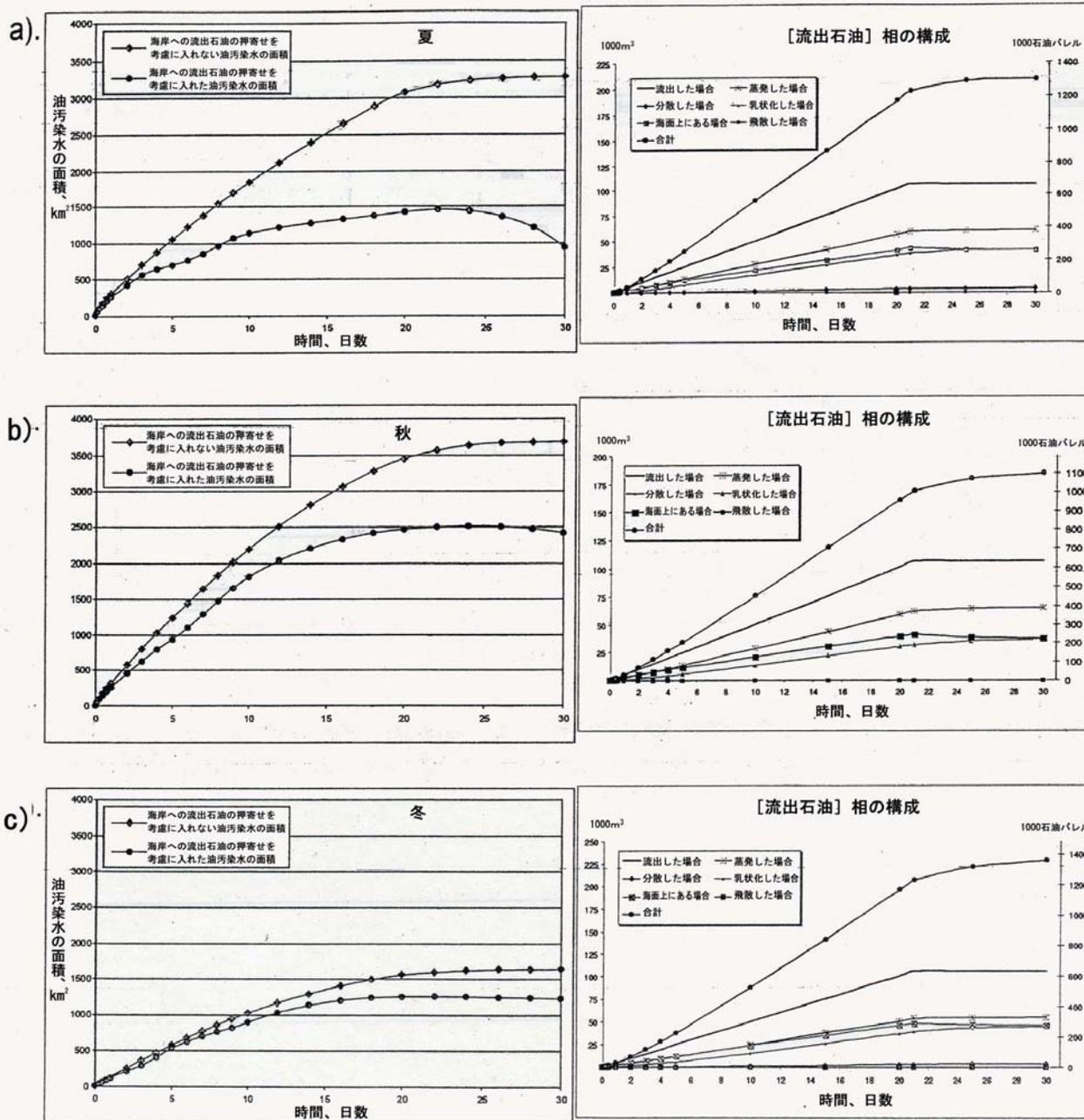


図 9.2.2.2-5: 「オルラン」プラットフォームからの石油流出開始後、30 昼夜間の海面上での石油汚染の予測による平均的面積と流出石油の各相の特徴

a) 8～9月

b) 10～11月

c) 2～3月

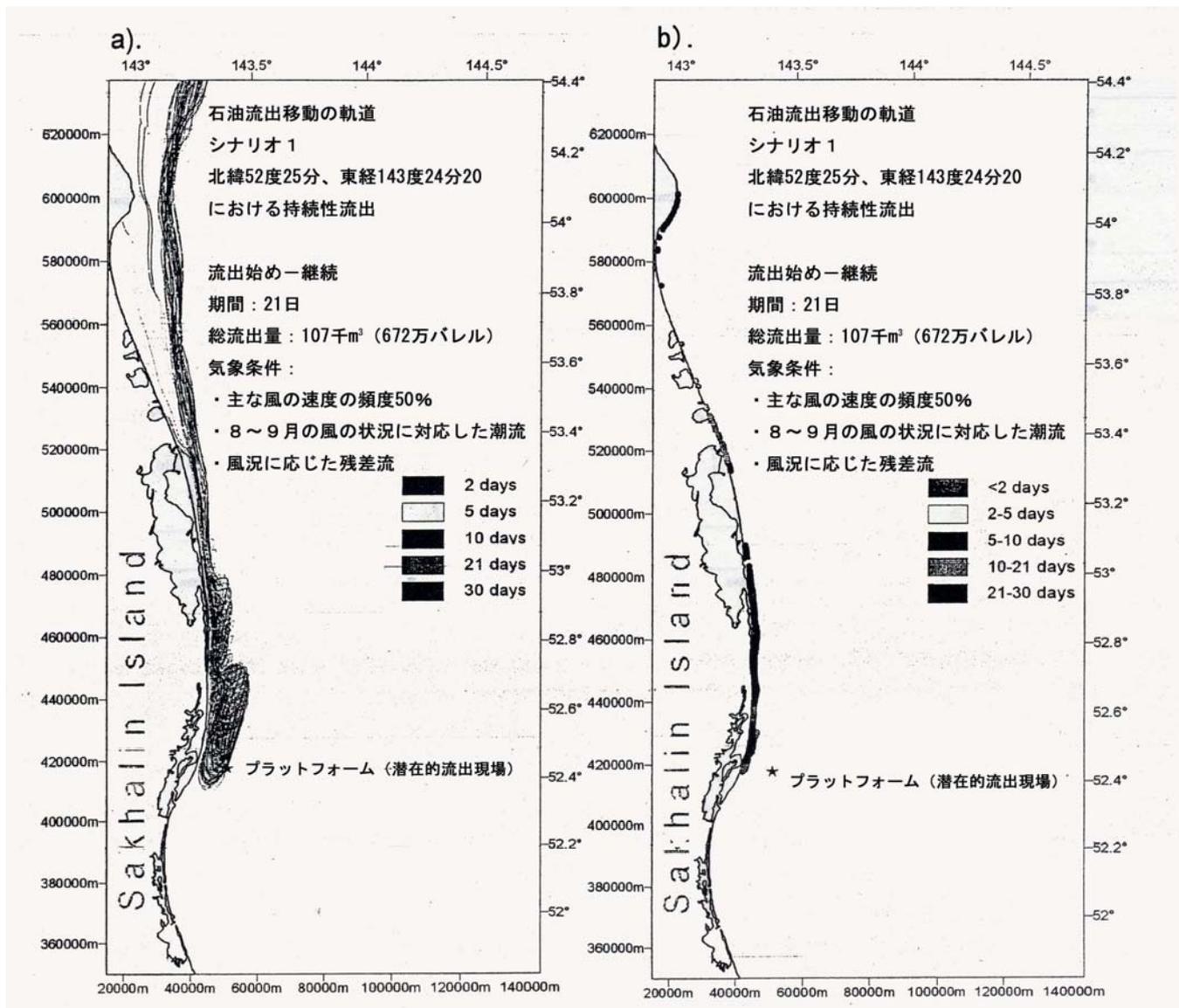


図 9.2.2.2-6：8～9月に累積頻度 50%の優勢な方向と速度の風がある場合の、夏の気象学的な諸条件下での「オルラン」プラットフォームから石油流出の軌道 (a) と海岸線の汚染 (b)

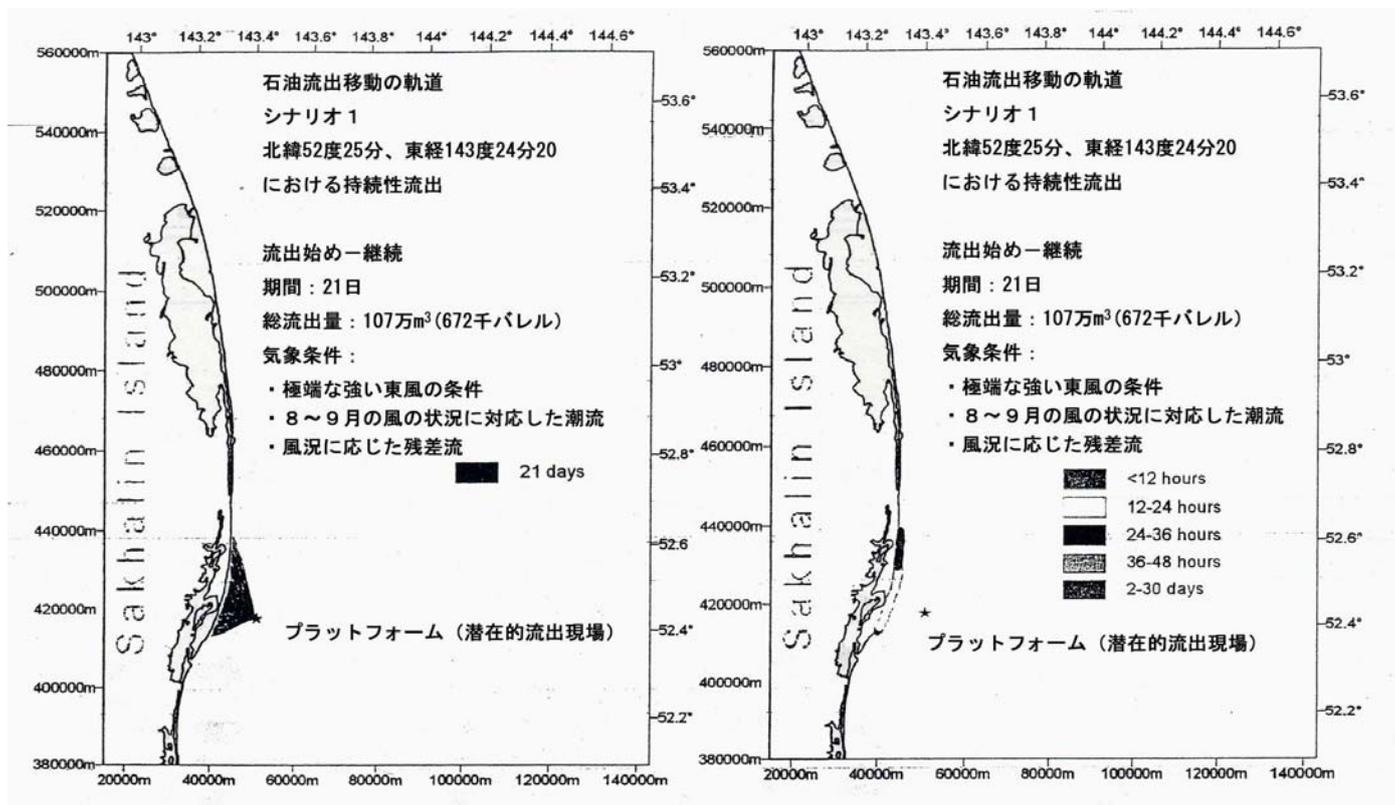


図 9.2.2.2-7：夏に極めて強い東風があるとき、「オルラン」プラットフォームから石油が流出する可能性がある場合の軌道（a）と海岸線の汚染（b）

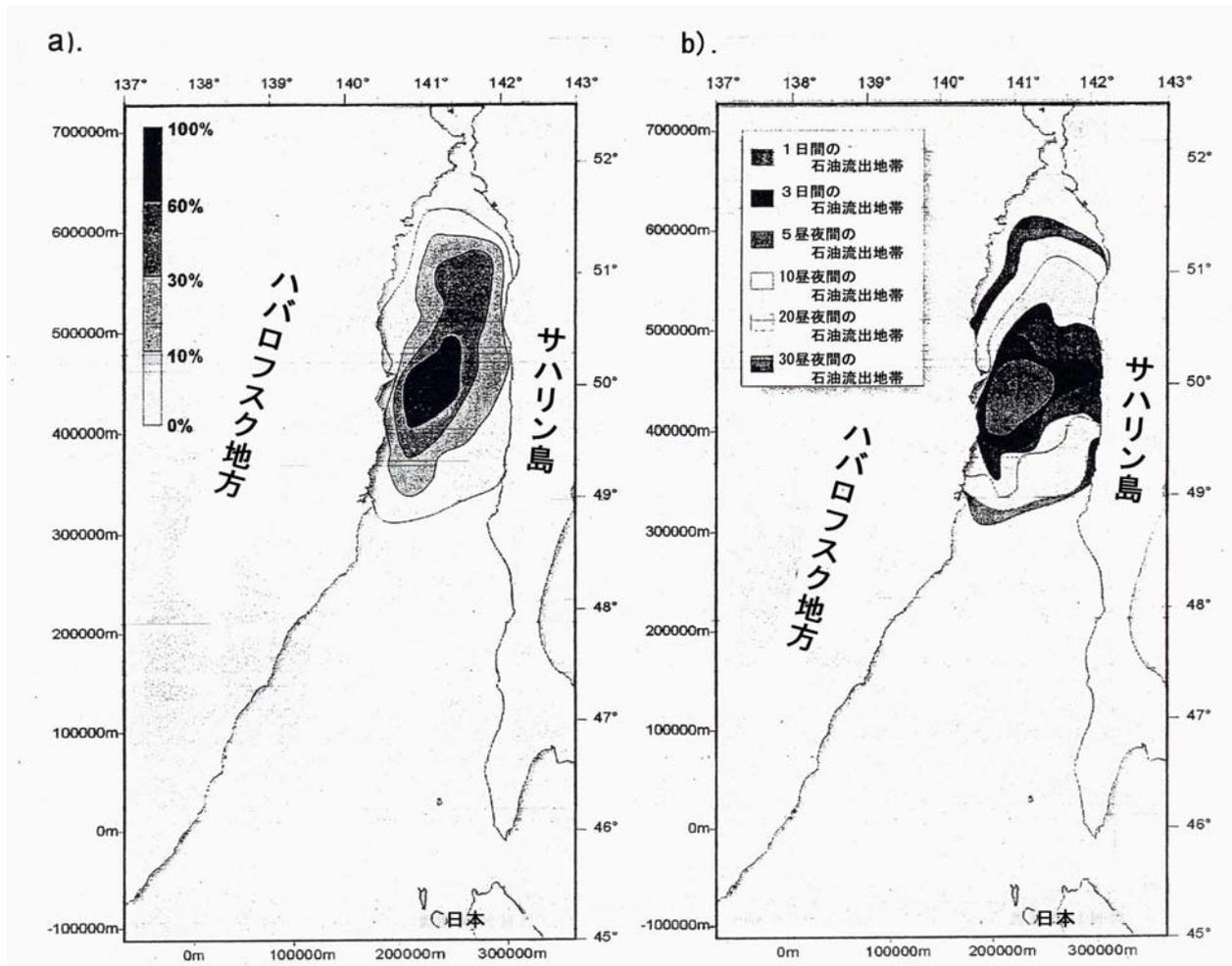


図 9.2.2.3-1 : タタール [間宮] 海峡北部でのタンカー事故の場合、石油流出の開始後の 30 昼夜間に油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、油汚れが広がる可能性のある諸地帯 (b)。8～9月

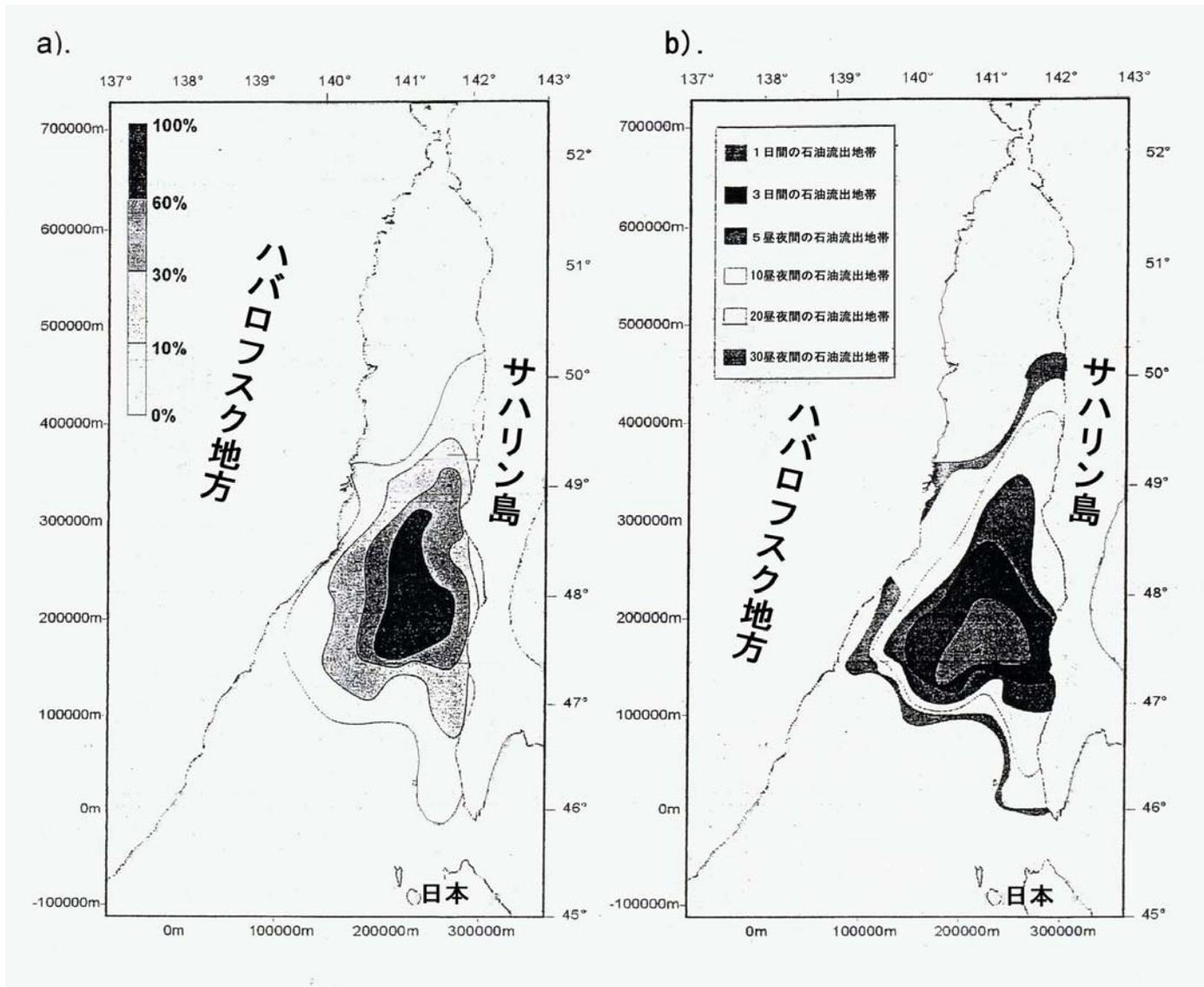


図 9.2.2.3-2 : タタール [間宮] 海峡南部でタンカー事故が発生した場合の、石油流出の開始後の 30 昼夜間に油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、油汚れが広がる可能性のある諸地帯 (b)。8～9月

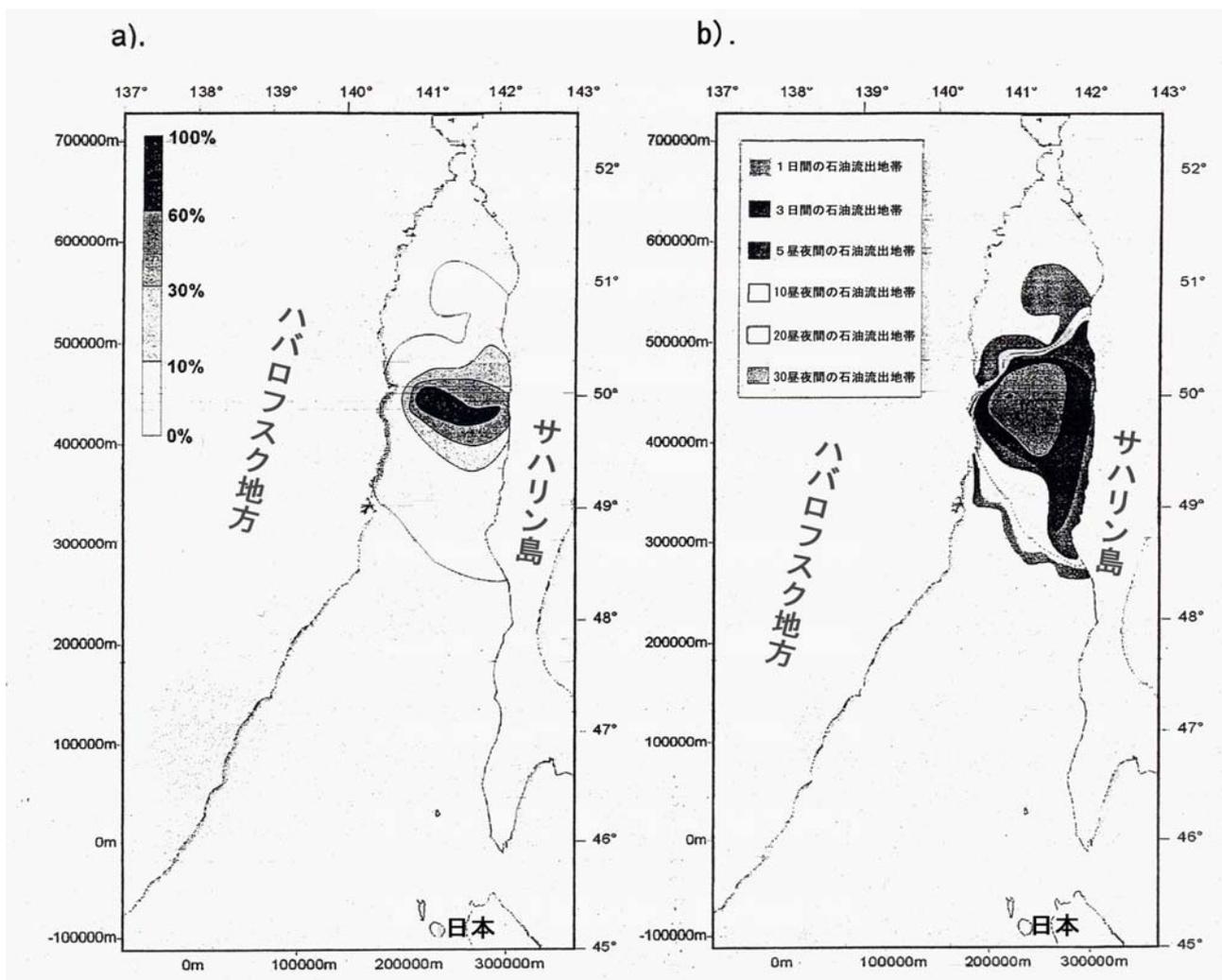


図 9.2.2.3-3 : タタール [間宮] 海峡北部でのタンカー事故が発生した場合、石油流出の開始後 30 昼夜間に油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、油汚れが広がる可能性のある諸地帯 (b)。10~11 月

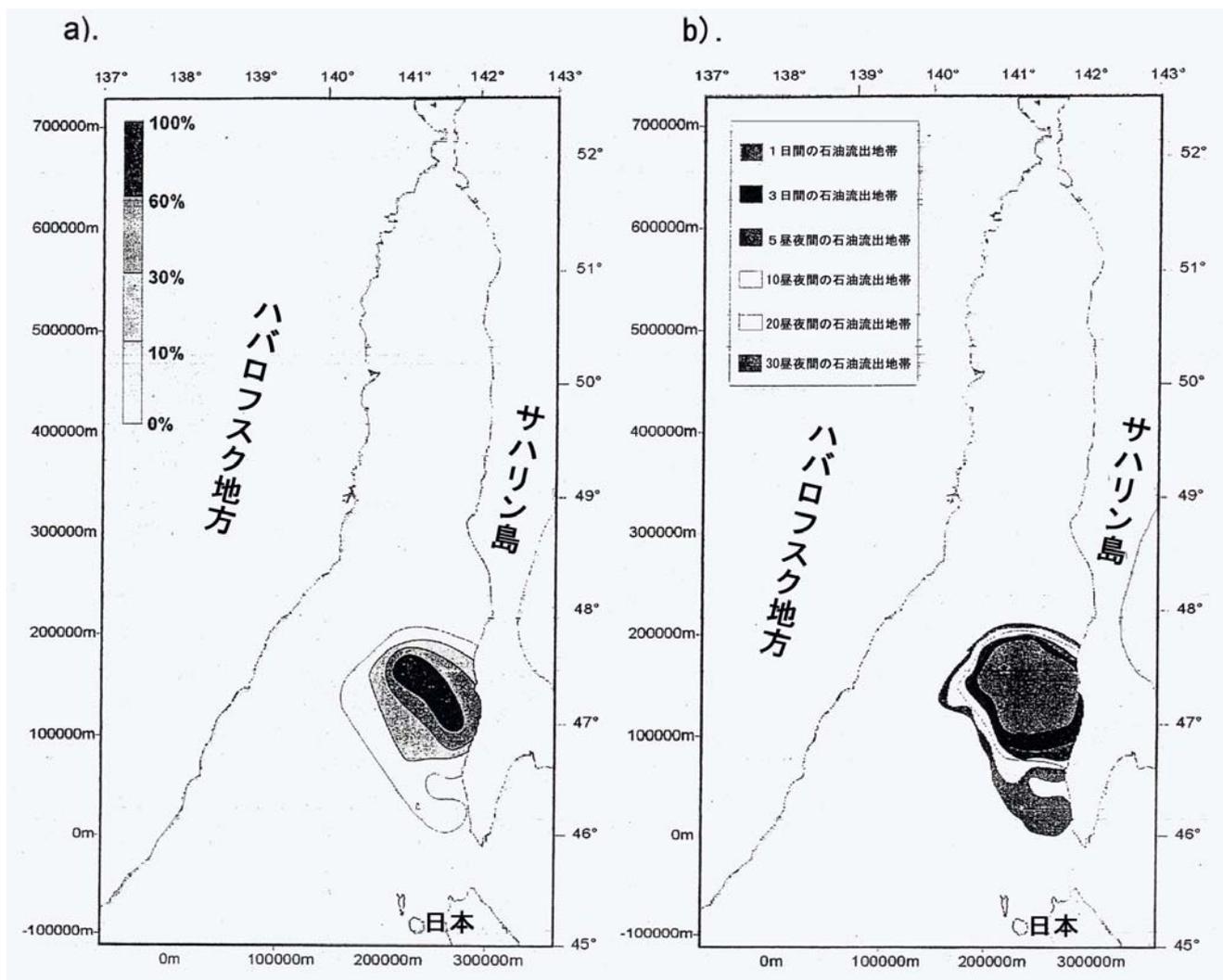


図 9.2.2.3-4 : タタール [間宮] 海峡南部でのタンカー事故発生の場合、石油流出開始後の 30 昼夜間に油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、油汚れが広がる可能性のある諸地帯 (b)。10~11 月

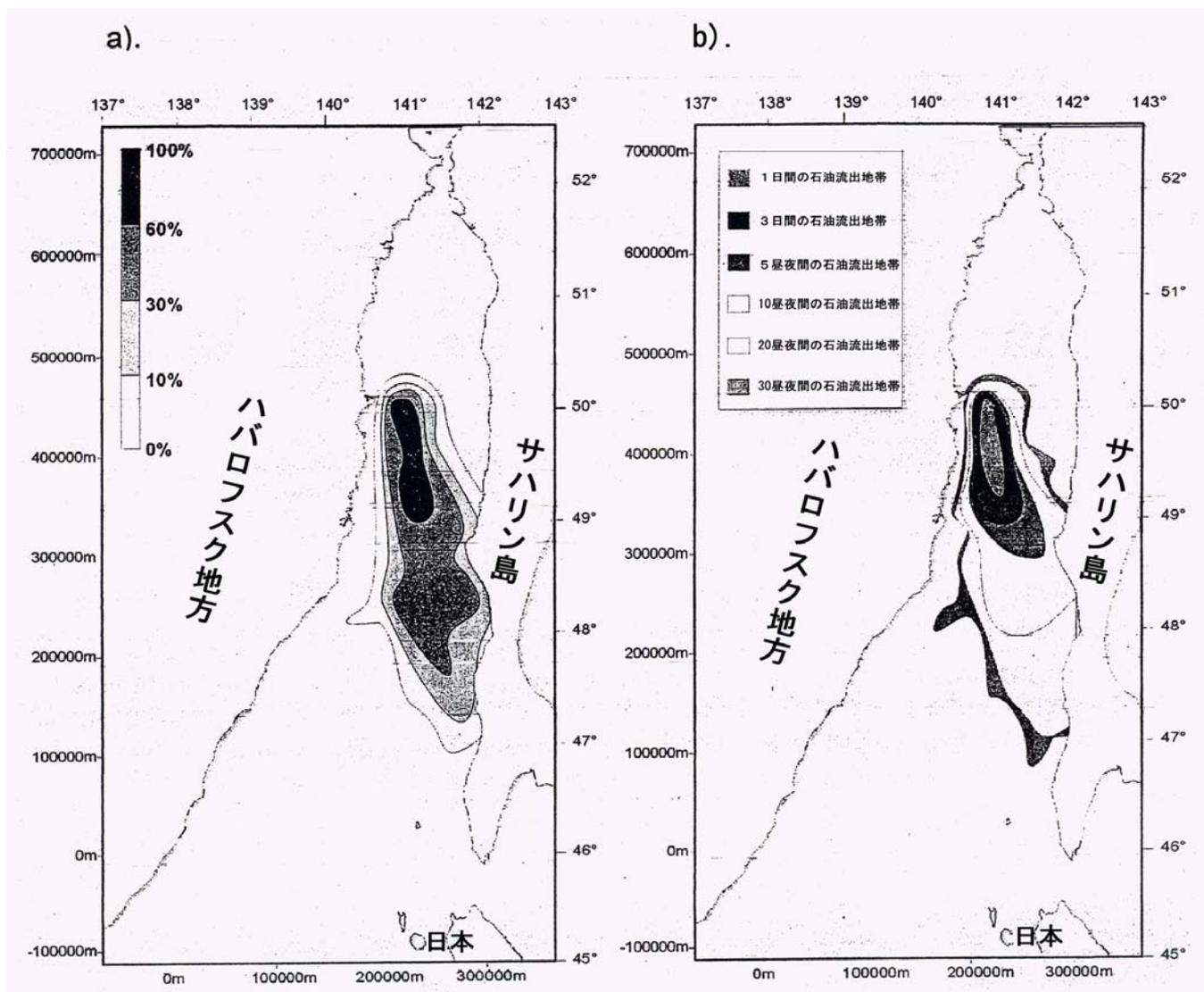


図 9.2.2.3-5 : タタール [間宮] 海峡北部でのタンカー事故発生の場合、  
石油流出開始後の 30 昼夜間に油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、  
油汚れが広がる可能性のある諸地帯 (b)。2～3月

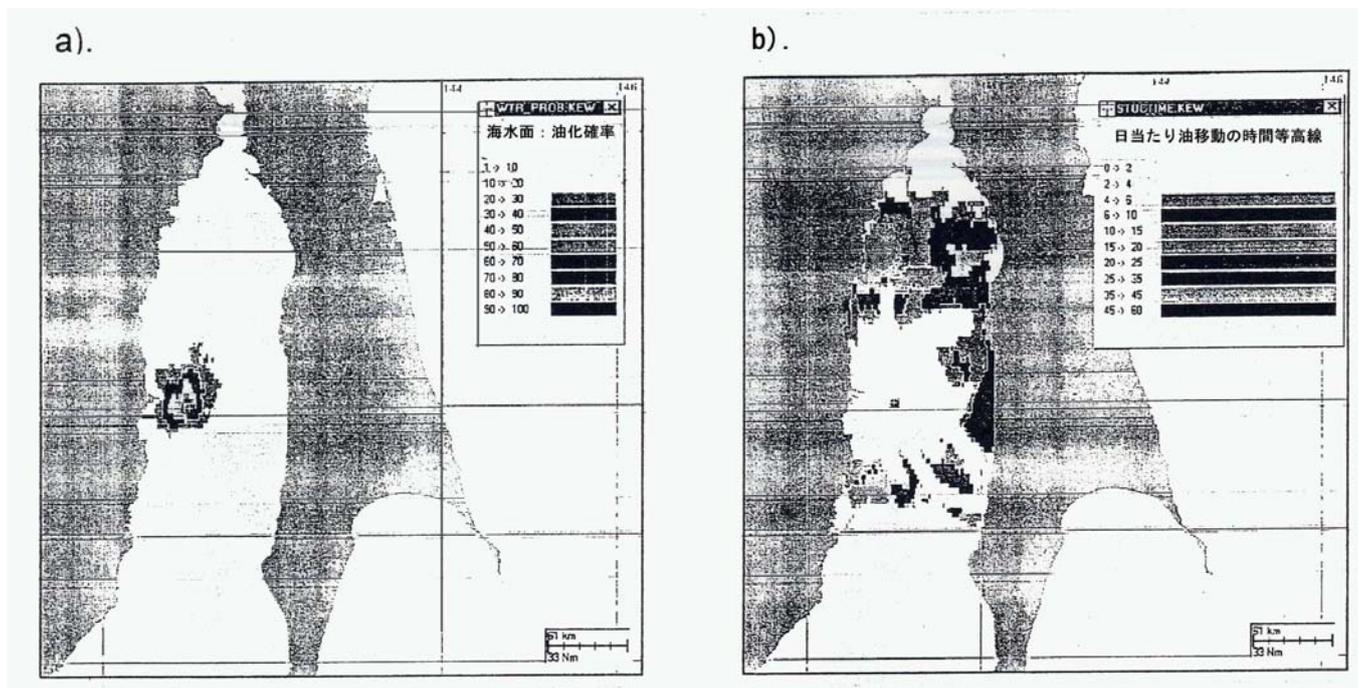


図 9.2.2.3-6：タタール〔間宮〕海峡北部でタンカー事故が発生した場合、石油流出開始後の 90 昼夜間に油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯（a）と、油汚れが広がる可能性のある諸地帯（b）（“オイルマップ”モデル）。8～10月

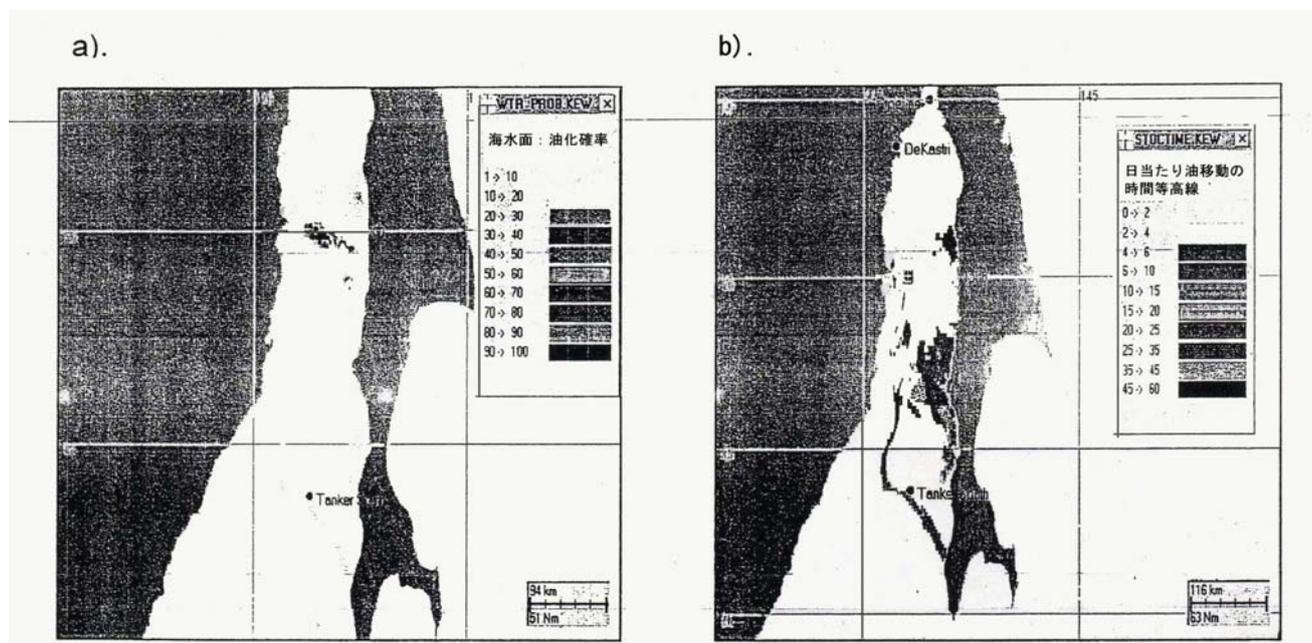


図 9.2.2.3-7：タタール〔間宮〕海峡北部でタンカー事故が発生した場合、石油流出開始後の 90 昼夜間に油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯（a）と、油汚れが広がる可能性のある諸地帯（b）（“オイルマップ”モデル）。10～12月

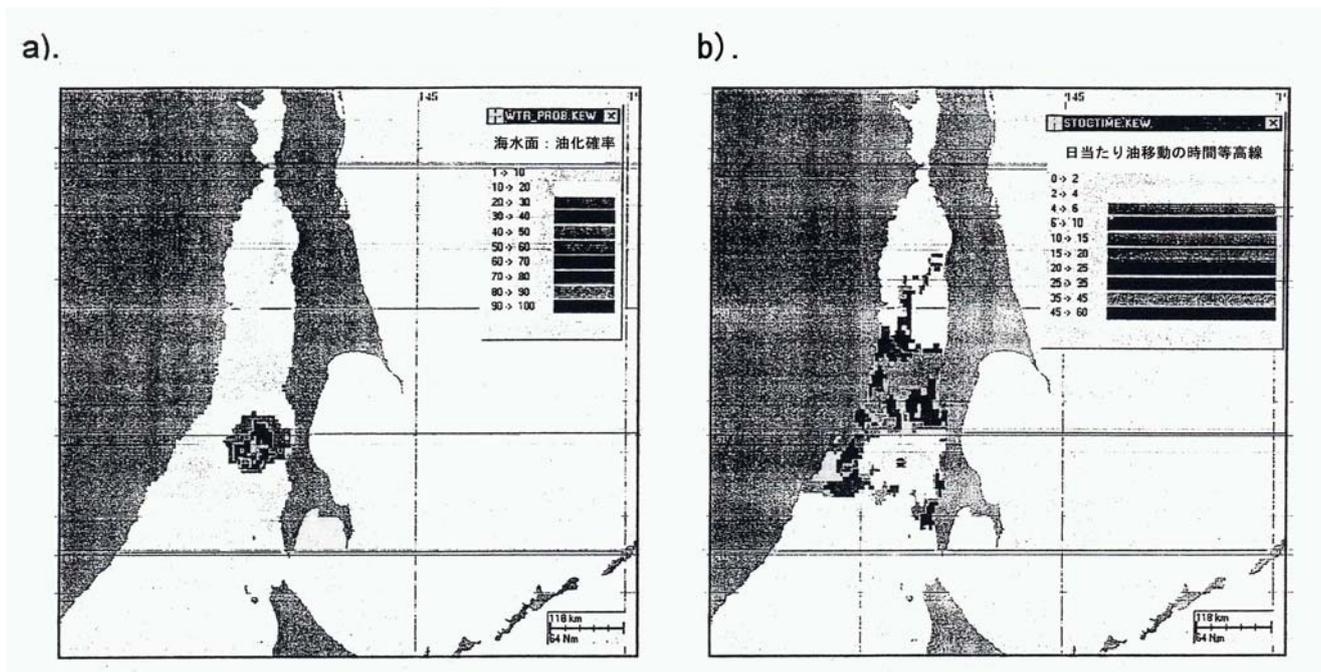


図 9.2.2.3-8：タタール [間宮] 海峡南部でタンカー事故が発生した場合、石油流出の開始後の 90 昼夜間に油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、油汚れが広がる可能性のある諸地帯 (b) (“オイルマップ”モデル)。8～10月

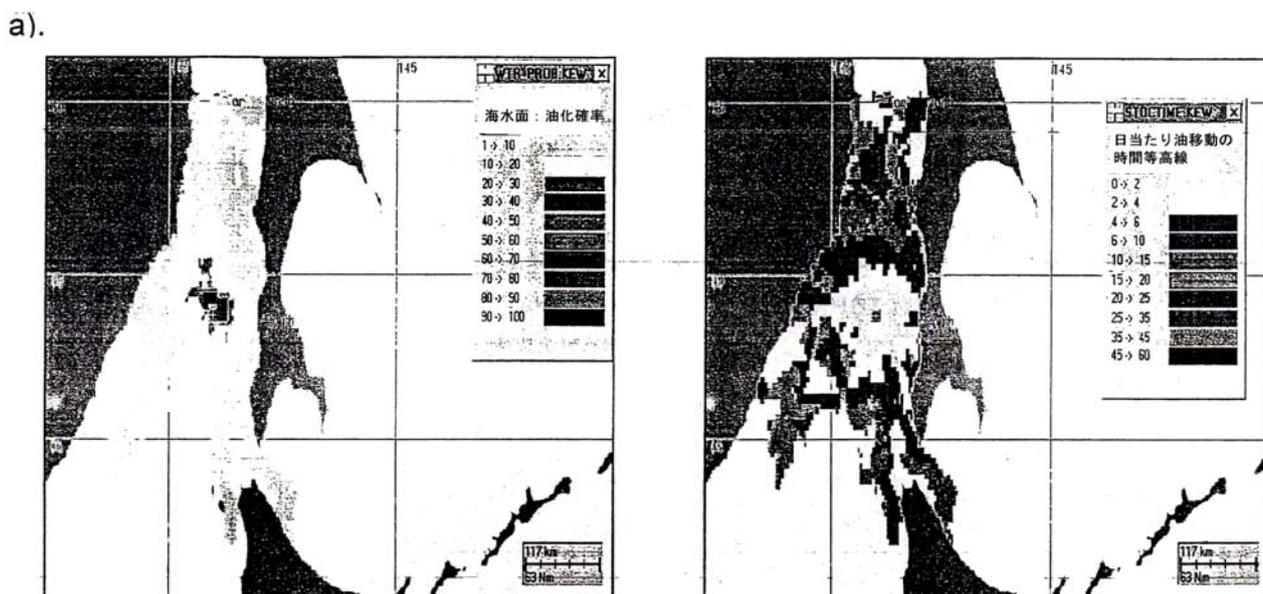


図 9.2.2.3-9：タタール [間宮] 海峡南部でタンカー事故が発生した場合、石油流出開始後の 90 昼夜間に油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、油汚れが広がる可能性のある諸地帯 (b) (“オイルマップ”モデル)。3～5月

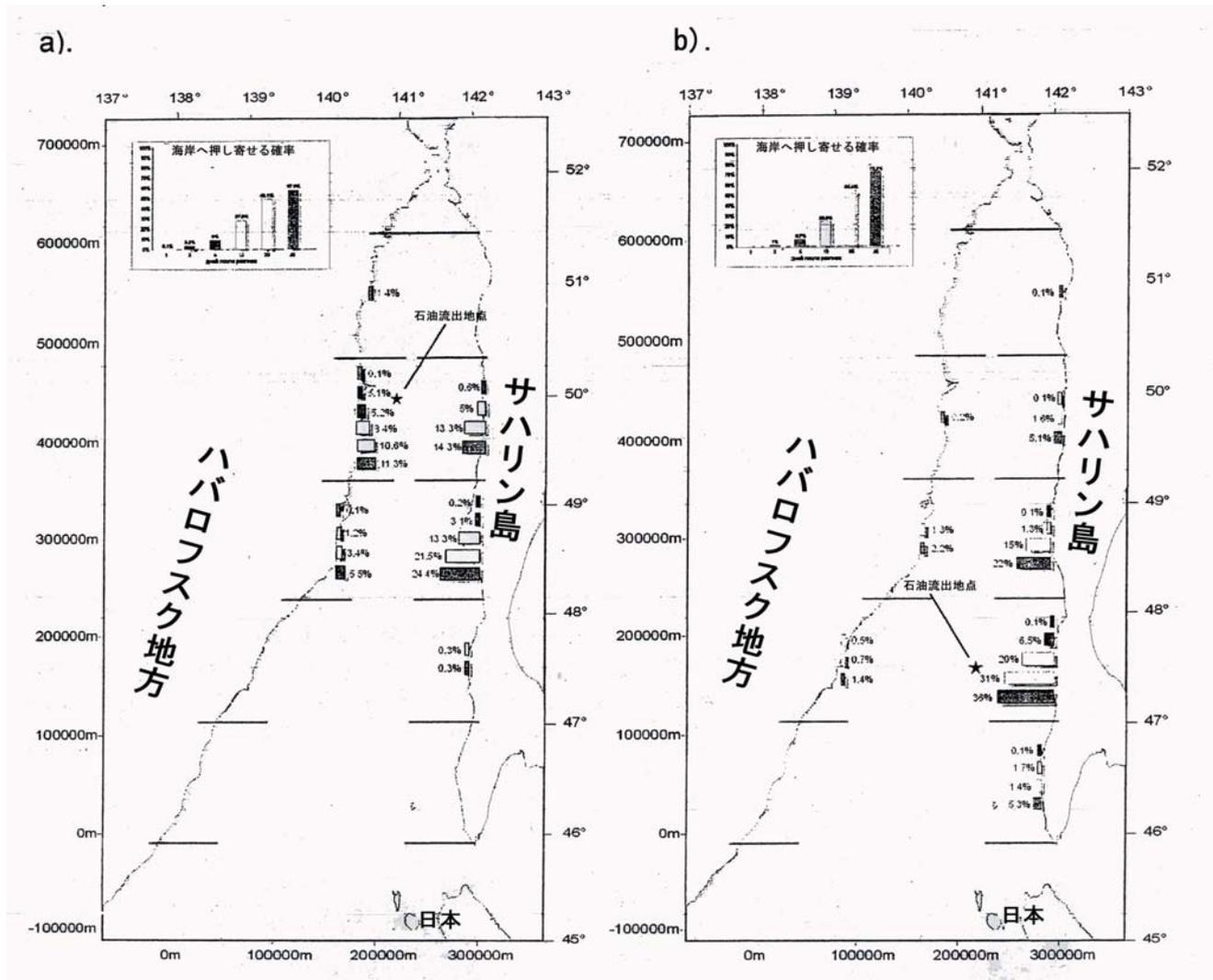


図 9.2.2.3-10 : タタール [間宮] 海峡の (a) 北部と (b) 南部でタンカー事故が発生した場合、30 昼夜間に海岸へ流出石油が押し寄せる確率。  
8～9月

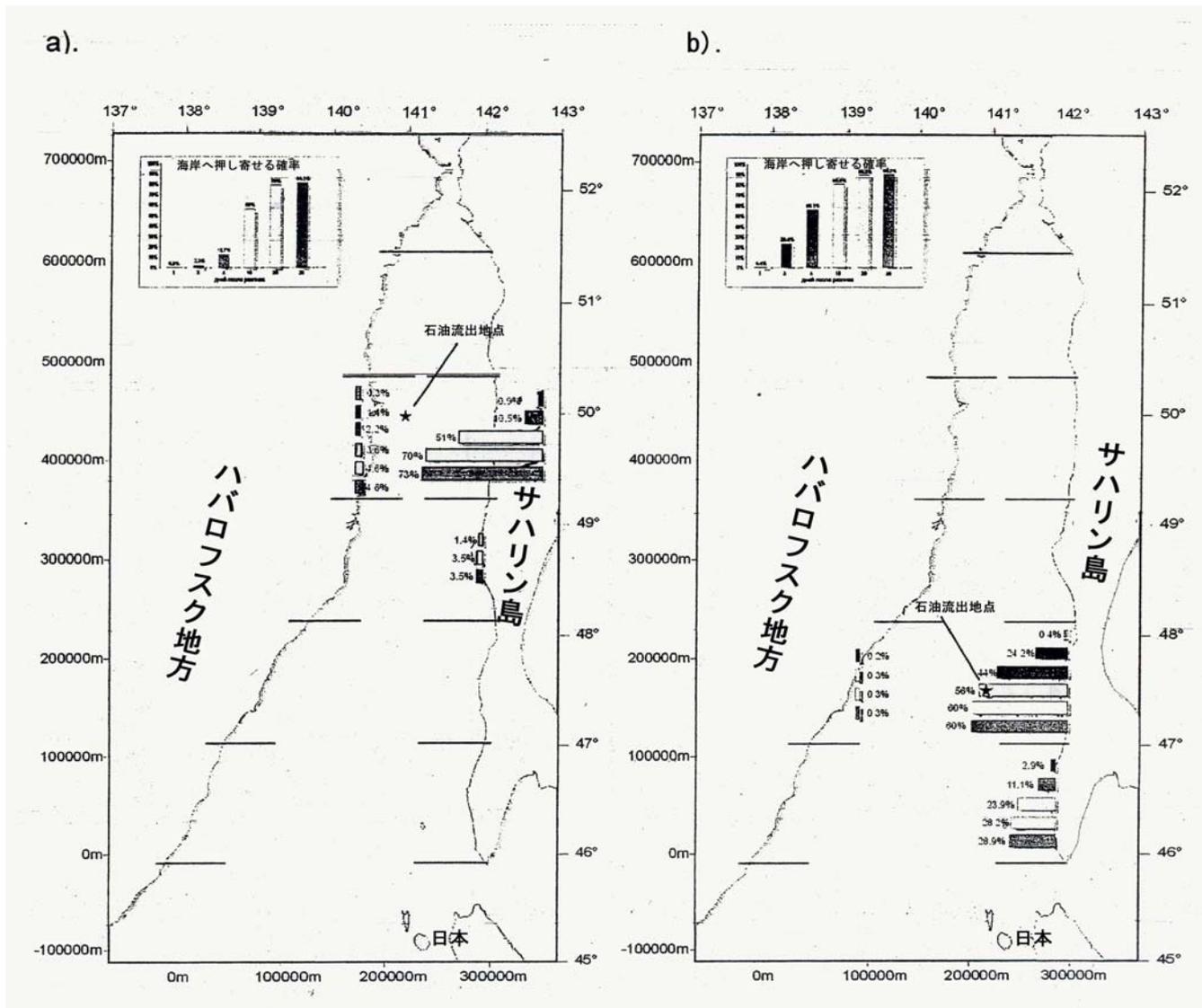


図 9.2.2.3-11：タタール [間宮] 海峡の (a) 北部と (b) 南部でタンカー事故が発生した場合、30 昼夜間に海岸へ流出石油が押し寄せる確率。10～11 月

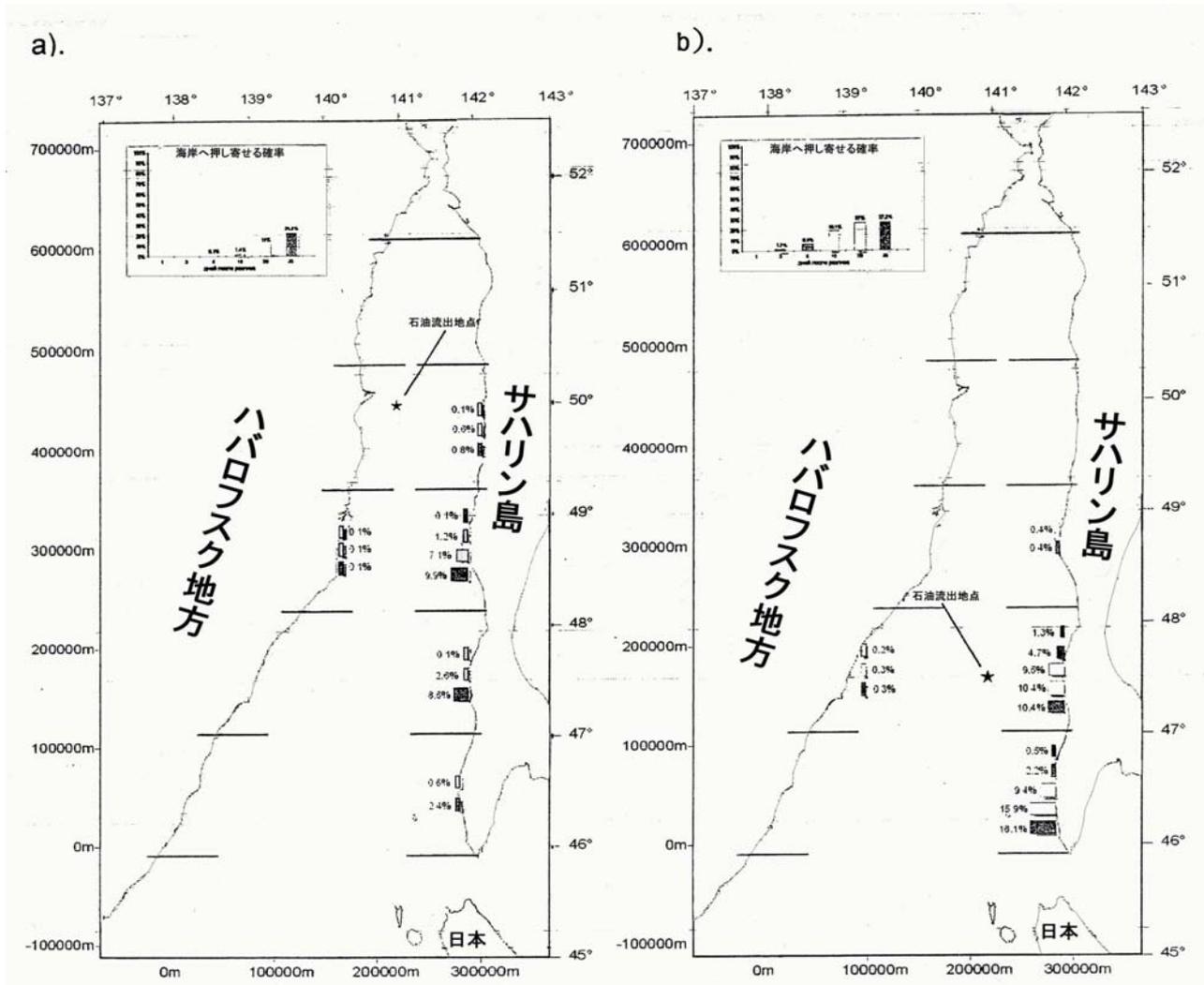


図 9.2.2.3-12 : タートル [間宮] 海峡の (a) 北部と (b) 南部でタンカー事故が発生した場合、30 昼夜間に海岸へ流出石油が押し寄せる確率。2~3 月

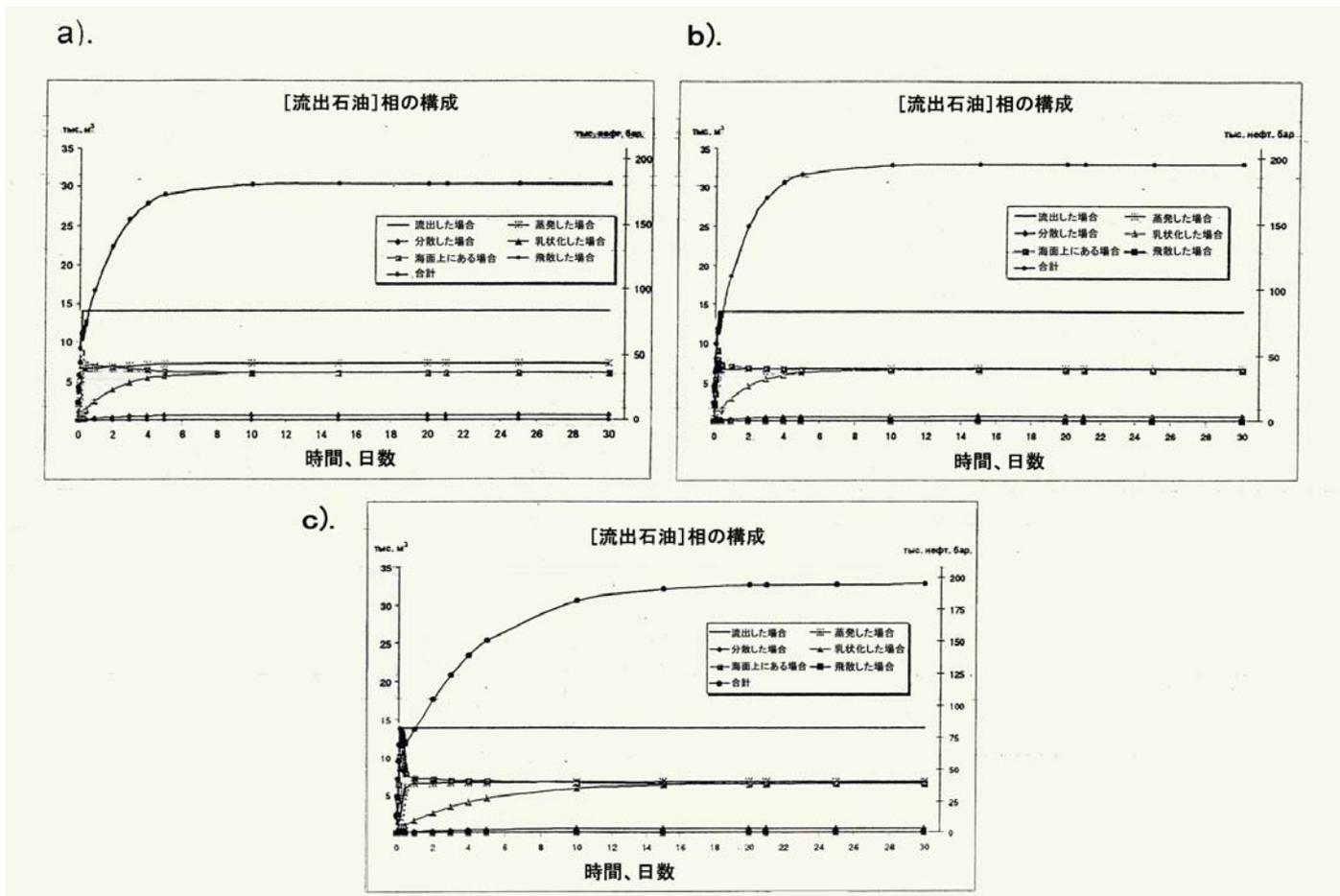


図 9.2.2.3-13 : タタール [間宮] 海峡でタンカー事故が発生したとき  
石油流出の可能性のある場合、30 昼夜間に起こる流出石油の相構成の変動  
(a) 8~9月 (b) 10~11月 (c) 2~3月

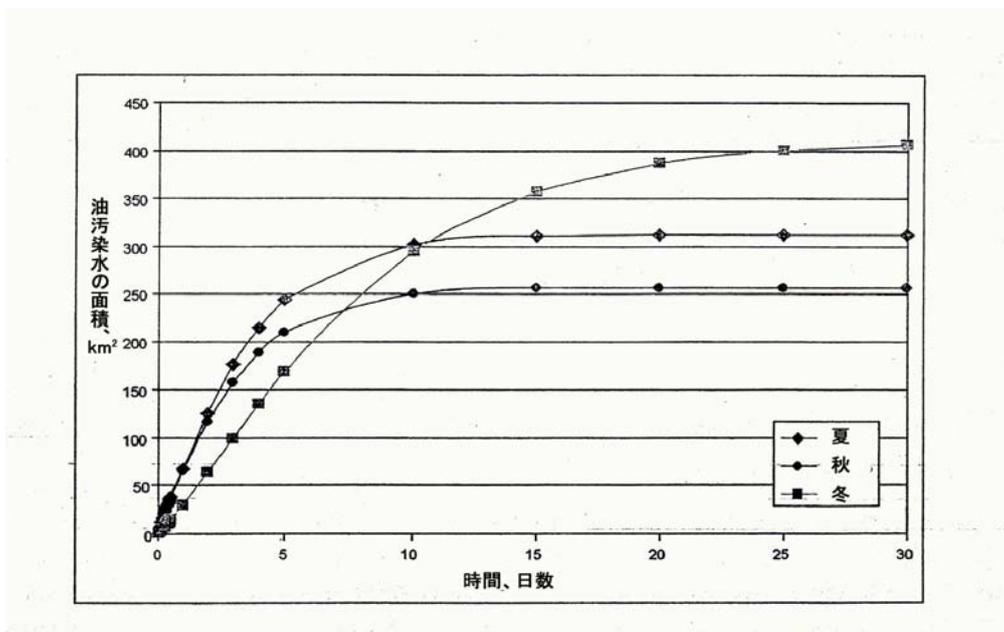


図 9.2.2.3-14 : タタール [間宮] 海峡でありうるタンカー事故の際、  
石油流出の開始後 30 昼夜間に起こる海面の石油汚染の面積

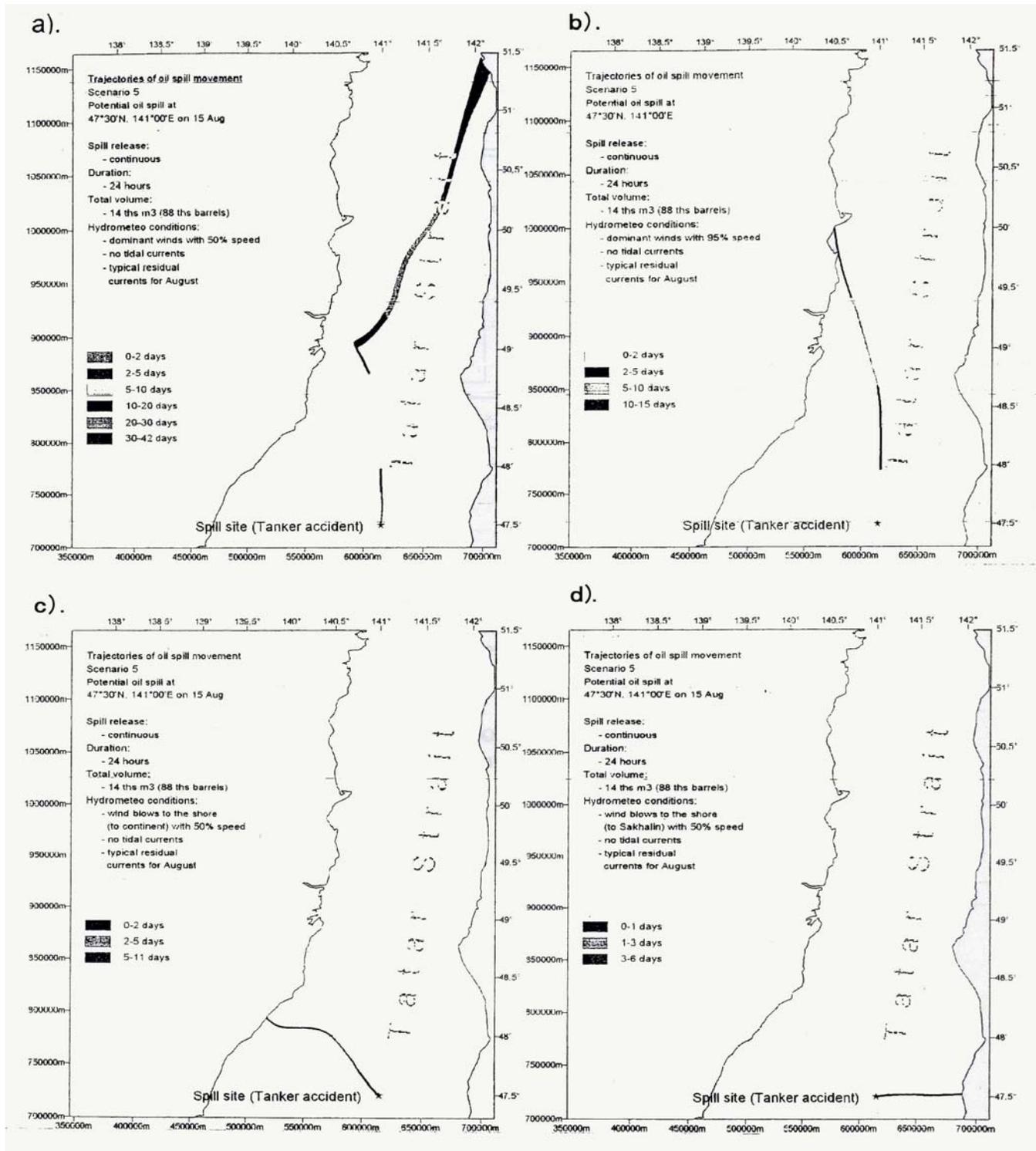


図 9.2.2.3-15 : 8~9月の風の4状況ー

- (a) 累積頻度 50%の優勢な方向と速度の風 ;
- (b) 累積頻度 95%の優勢な方向と速度の風 ;
- (c) 累積頻度 50%の大陸向きと速度の風 ;

(d) 累積頻度 50%のサハリン島向きと速度の風ーのせいで  
 タタル [間宮] 海峡南部でタンカーの石油流出が発生した場合の  
 流出石油の移動軌道

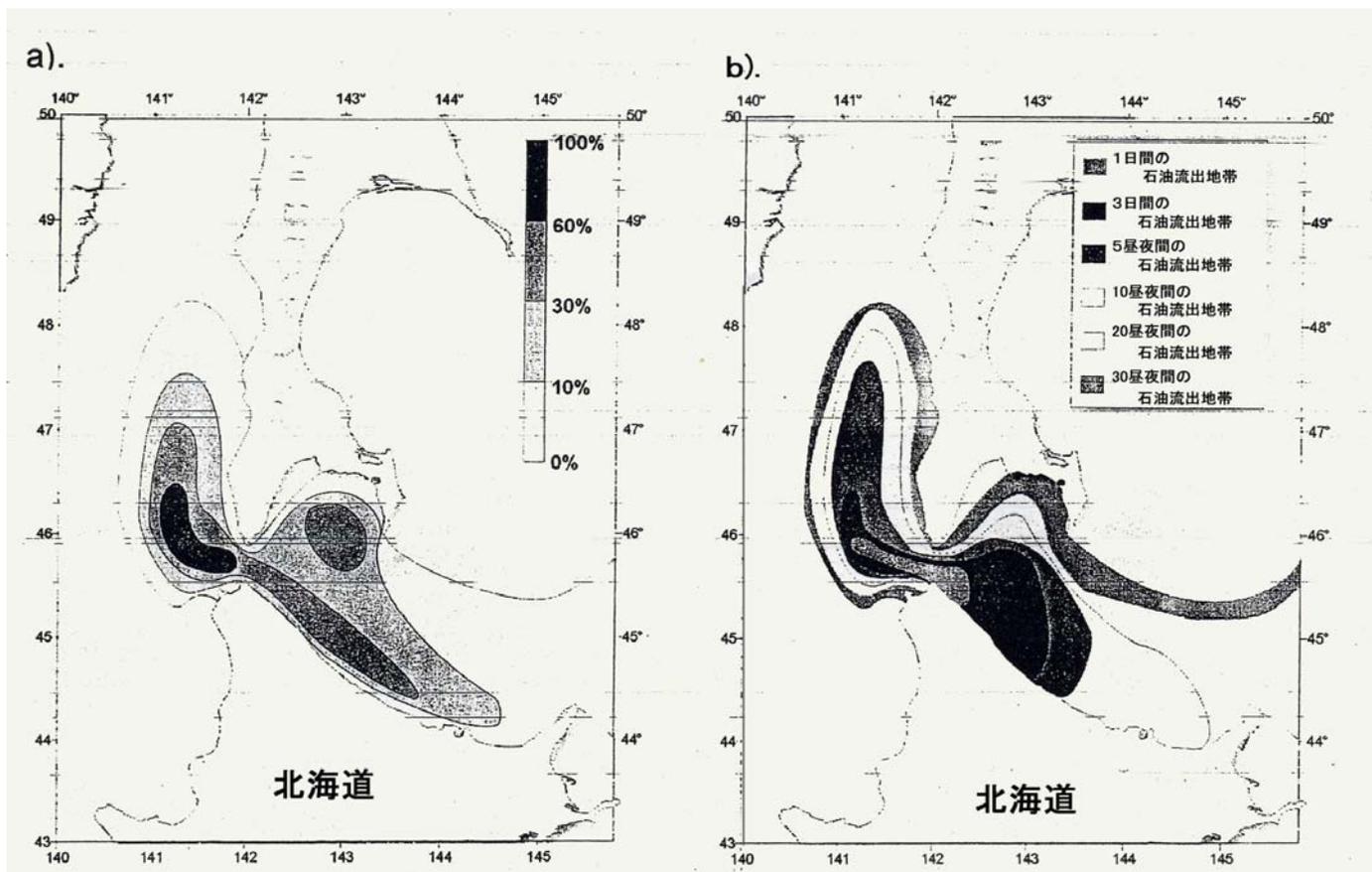


図 9.2.2.4-1 : [宗谷] 海峡への入口でタンカー事故が発生した場合、石油流出開始後の 30 昼夜間に油汚れが押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、油汚染水が広がる可能性のある諸地帯 (b)。8~9 月

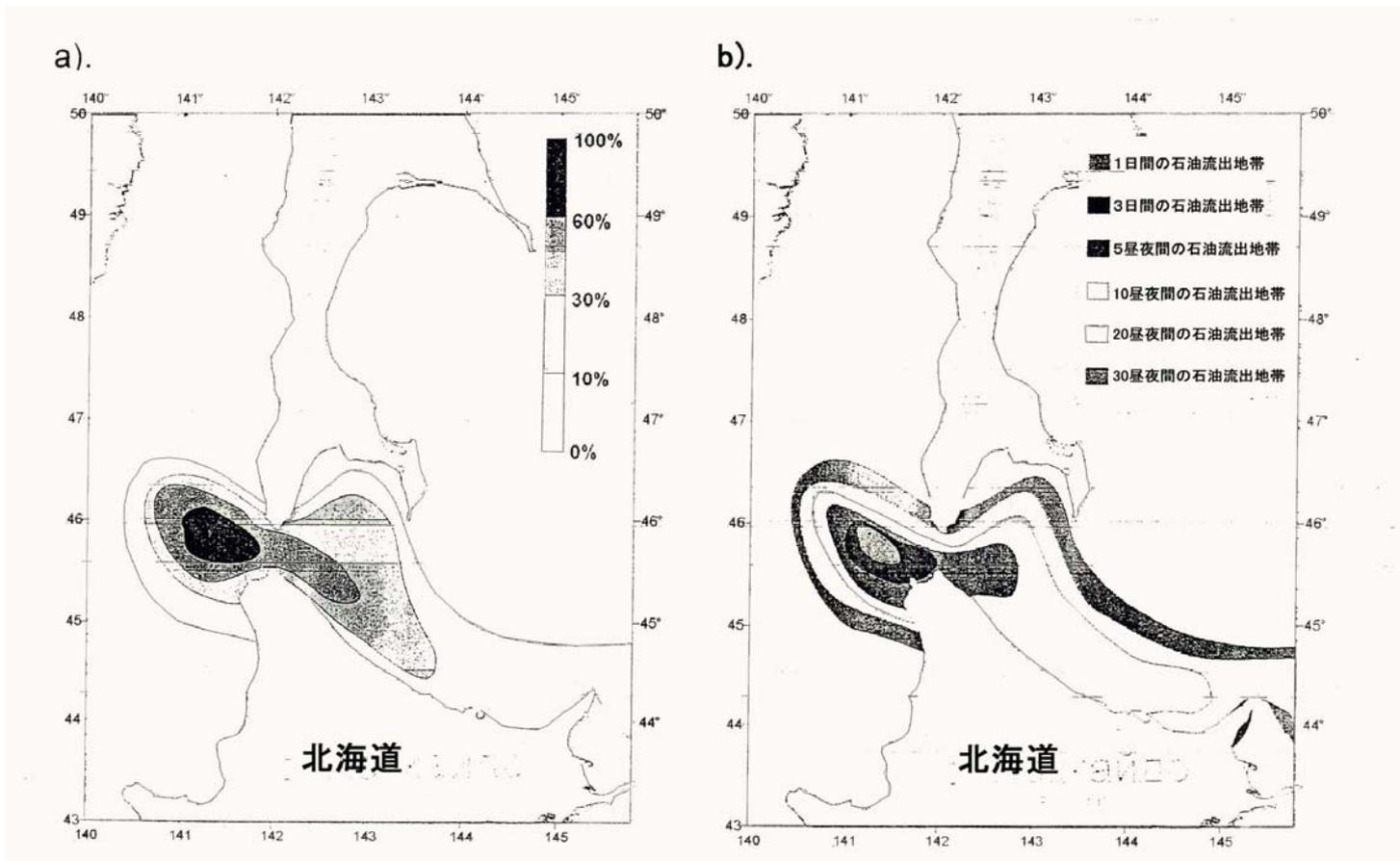


図 9.2.2.4-2：ラペルーザ [宗谷] 海峡への入口でタンカー事故が発生した場合、石油流出開始後の 30 昼夜間に油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、油汚れが広がる可能性のある諸地帯 (b)。10～11 月

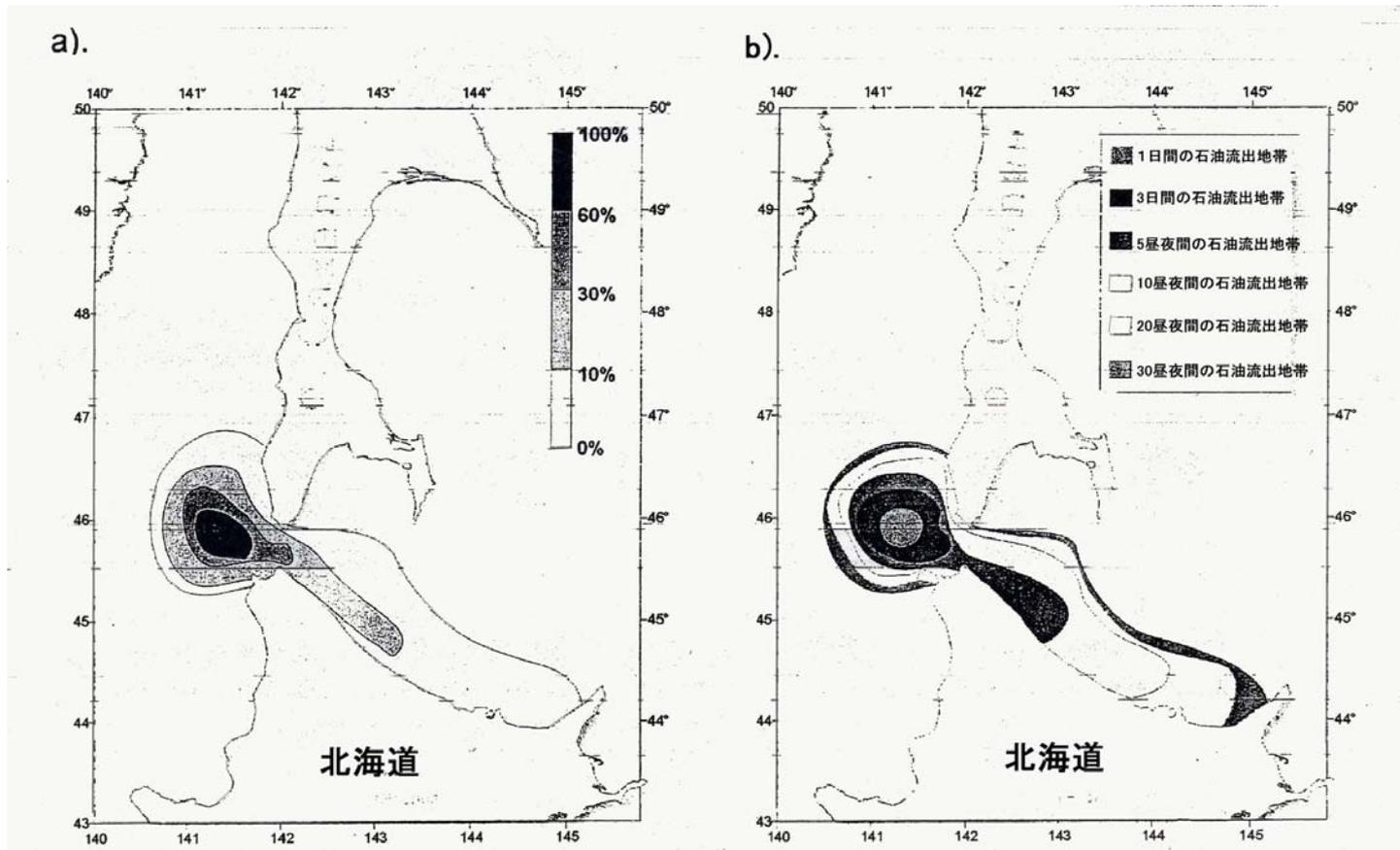


図 9.2.2.4-3 : ラペルーザ [宗谷] 海峡への入口でタンカー事故が発生した場合、石油流出開始後の 30 昼夜間に油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、油汚れが広がる可能性のある諸地帯 (b)。2~3 月

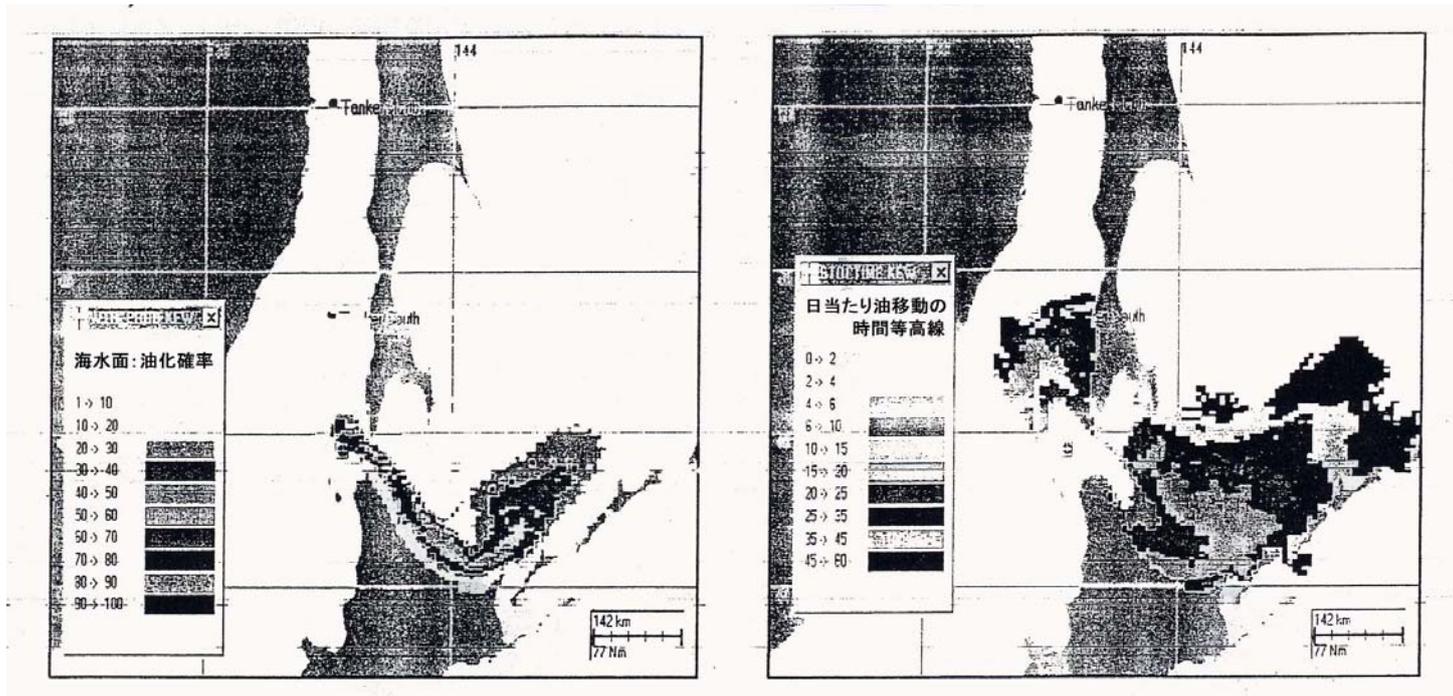


図 9.2.2.4-4 : タタール [間宮] 海峡の北部でタンカー事故が発生した場合、石油流出開始後の 30 昼夜間に、油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、油汚れが広がる可能性のある諸地帯 (b) (“オイルマップ”モデル)。8~10 月

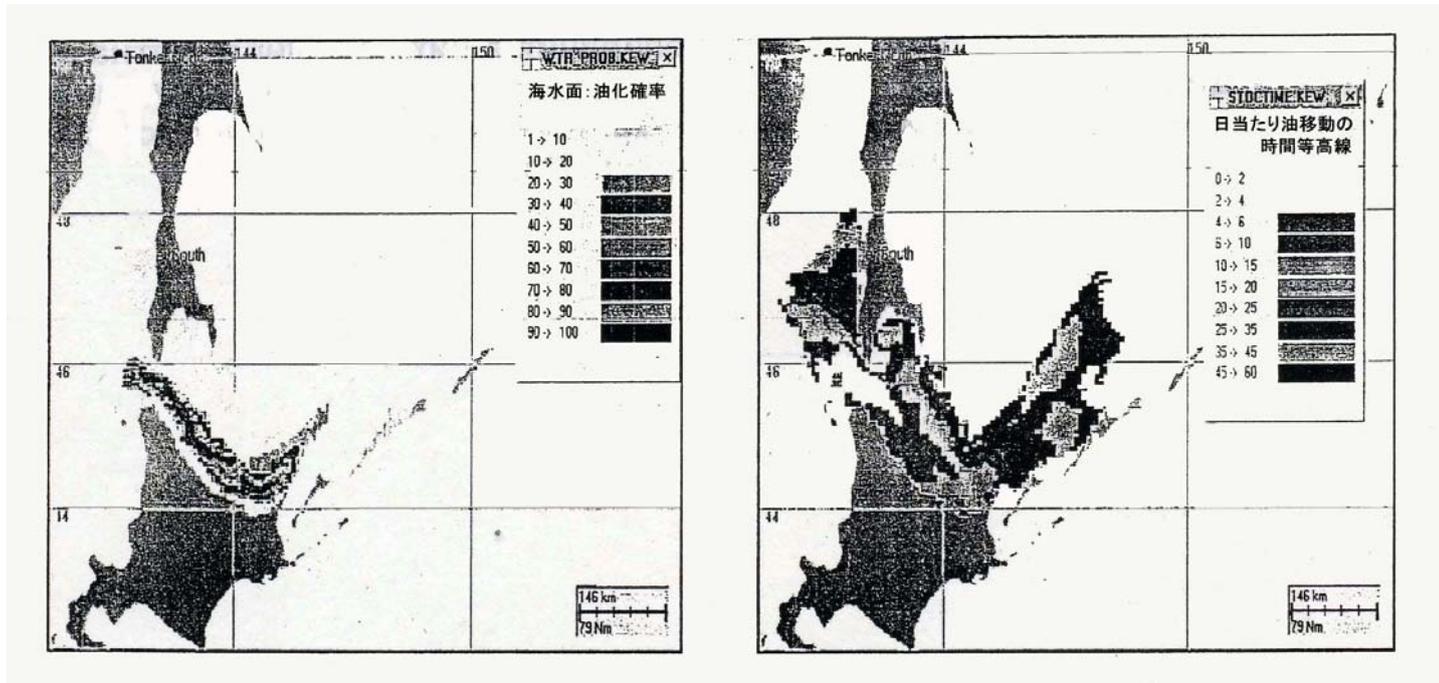


図 9.2.2.4-5 : タタール [間宮] 海峡の北部でタンカー事故が発生した場合、石油流出開始後の 90 昼夜間に、油汚染水が押し寄せる可能性のある諸地帯 (a) と、油汚染水が広がる可能性のある諸地帯 (b) (“オイルマップ”モデル)。3~5 月

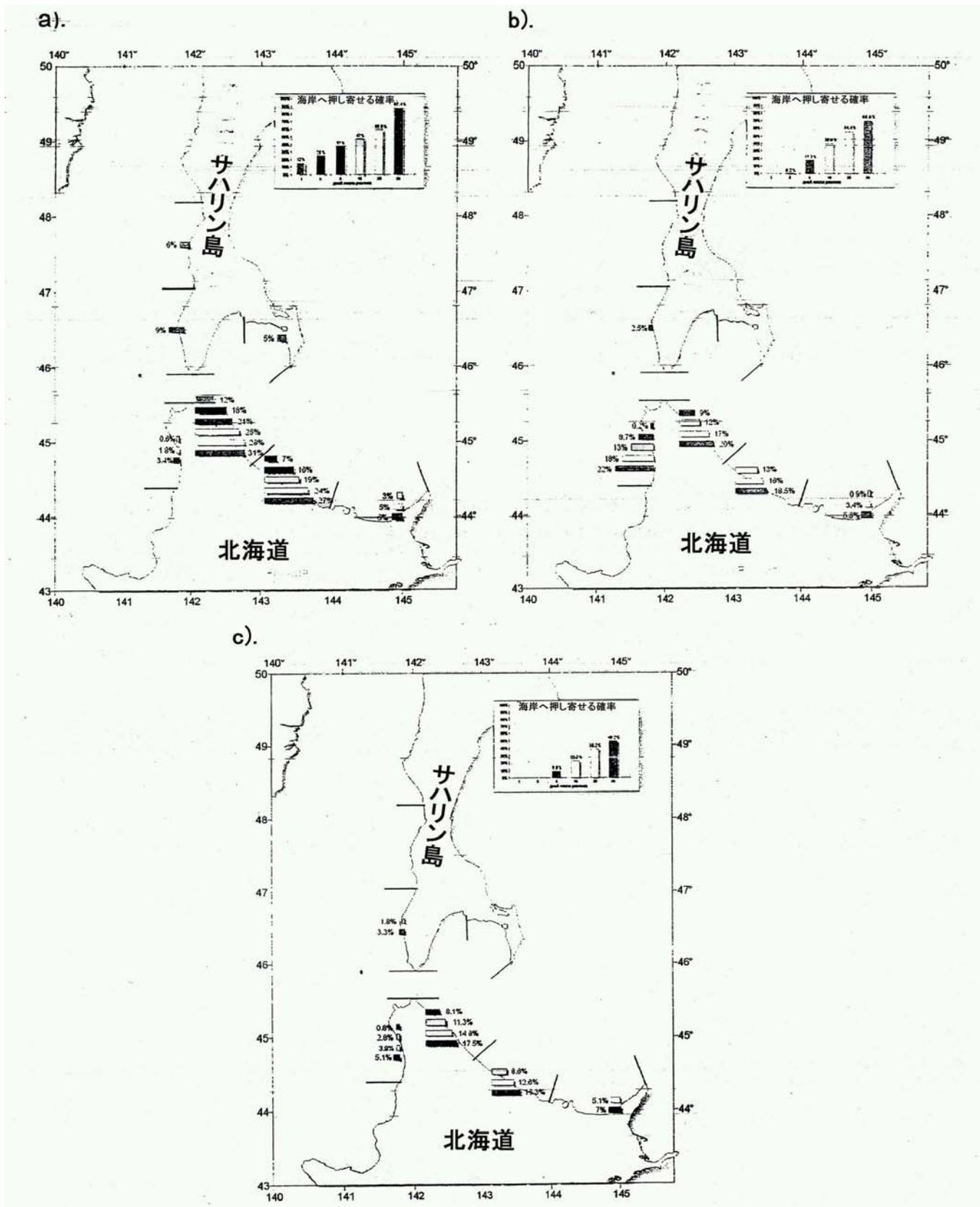


図 9.2.2.4-6 : ラペルーザ [宗谷] 海峡への入口でタンカー事故が発生した場合、  
30 昼夜間に流出石油が海岸へ押し寄せる確率。

(a) 8~9月      (b) 10~11月      (c) 2~3月

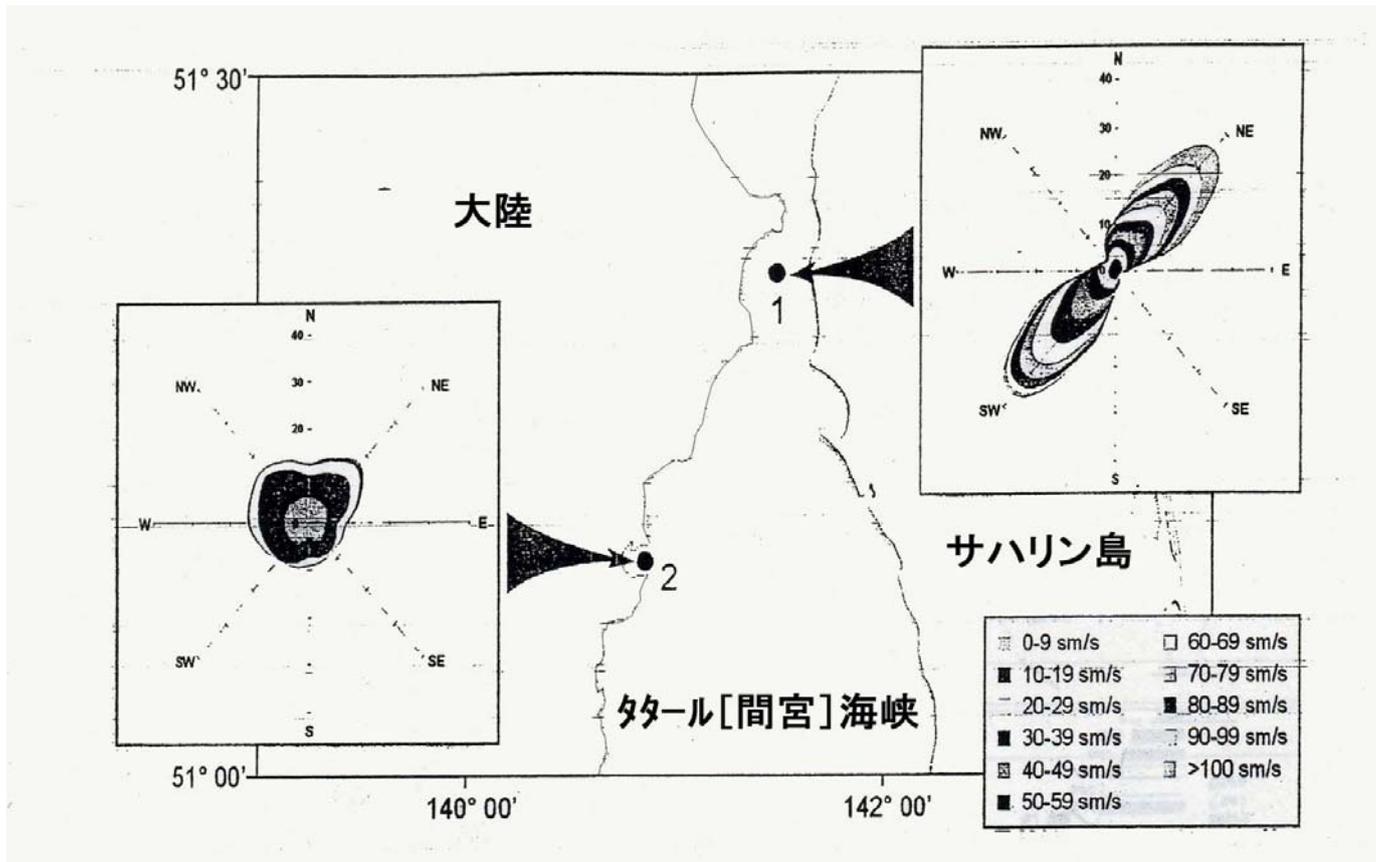


図 9.2.2.6-1 : ネヴェリスコーイ海峡(1)とチハリョーフ湾(2)の流出源による流出石油の局地的移動の線図